雙 月 刊

核能簡訊

NUCLEAR NEWSLETTER

NO. 165
2017 APRIL



歐洲減排減暖 落實能源聯盟

核能簡訊 NUCLEAR NEWSLETTER

NO.165 雙月刊

APRIL 中華民國一〇六年四月號

出版單位：財團法人核能資訊中心
地　　址：新竹市光復路二段一〇一號
電　　話：（03）571-1808
傳　　真：（03）572-5461
網　　址：http://www.nicenter.org.tw
E-mail：nicenter@nicenter.org.tw
發 行 人：朱鐵吉
編輯委員：李四海、汪曉康、陳條宗、郭瓊文、劉仁賢、謝牧謙（依筆畫順序）
主　　編：朱鐵吉
文　　編：鍾玉娟、翁明琪、林庭安
執　　編：羅德禎
設計排版：長榮國際　文化事業本部
地　　址：台北市民生東路二段 166 號 6 樓
電　　話：02-2500-1175
製版印刷：長榮國際股份有限公司　印刷廠
行政院原子能委員會敬贈　廣告
台灣電力公司核能後端營運處敬贈　廣告

編者的話

3 月 23 日是「世界氣象日」，世界氣象組織發布全球氣候狀況年度報告指出，2016 年全球溫度創下歷史新高，是自 1880 年有氣溫統計以來的最高記錄，海冰處於異常低位，海平面上升和海洋熱量趨勢不減。氣象組織也預測，2017 年的氣候條件仍然極端。比起 2016 年數據更令人擔憂的是，環境惡化的趨勢似乎都將持續。美國科學團隊 2017 年 3 月初的測量記錄同時也顯示，北極與南極的冰帽面積都創下新低紀錄，這已是監測計畫實施 38 年來連續第 3 年刷新最低紀錄，意味著全球暖化仍在快速惡化。「歐洲減排減暖 落實能源聯盟」一文中，將帶讀者看看歐洲國家為解決暖化的對策，且積極落實行動以求改變。

我國在高放射性廢棄物處置場選址與處理均遭逢瓶頸，世界第一核能大國—美國是如何處理？乾式貯存在核一、二廠都面臨重重阻礙，美國在這方面現況又是如何？本期特別整理「美國商用乾式貯存設施介紹」，提供讀者瞭解。目前美國境內設有超過 60 座一般運轉許可與 15 座特殊運轉許可的「用過核燃料中期貯存設施」。這些設施主要集中在美國東部與東北部，分布在美國 34 個州內。美國可說是全球使用乾式貯存最多元化的國家，我國核一廠的乾貯設施即選擇採用美國技術轉移、核管會審查認證通過的混凝土護箱系統，是美國已經長期使用、非常成熟穩定的技術。

福島事故 6 週年的今天，民眾對於事故的發生仍心有餘悸；尤其遭到撤離的民眾，因移居的不安定心理恐懼竟間接造成其他疾病。而距福島核一廠 60 公里遠的伊達市，在事發時選擇不撤離，讓市民使用輻射劑量佩章以偵測個人接收的輻射劑量，意外竟使日本科學家獲得大量的測量數據，用來與政府使用直昇機測量所推估的數值進行比對，發現當地民眾接受輻射的實際值只有估算值 1/4 的驚人結果。這對伊達市的居民而言，能選擇留守家鄉，且接收到的輻射值還遠低於當時令人擔憂的預估值，是個非常令人開心的好消息。

勘誤表

第 164 期核能簡訊第 13 頁：1. 鍶９０在化學上是跟鈣相似的物質，……2. 放射性濃度是每一公斤１９５貝克。……第 14 頁：中川惠一醫師認為，鉋是接近鈣的「鹼性金屬」，進入體內，會與鈣一樣，大致平均的分布到全身的細胞裡。特此勘誤，並向作者與讀者致歉。

■福島事故 6 週年

福島居民輻射曝露的劑量比想像的還低

文・張文杰



今（2017）年初在學術界享有盛譽的《科學（science）》網頁刊登了一篇有關核子事故與輻射防護的新聞。從地表到飛機所在的幾萬公尺高空，我們的生活環境中充滿了輻射，但是我們接受到輻射累積劑量幾乎都是用估算出來的，沒有人知道估算出來的輻射累積劑量和實際接受到的差距是多少，或許在某些輻射工作場所有規定要佩帶輻射劑量佩章加以記錄，但是從來沒有人長達一年以上，無論是工作或日常生活都帶著輻射劑量佩章，然後記錄下來的大規模實際案例。

史上第一次的實例研究

在 2011 年 3 月發生福島核災後，居住在

福島核一廠附近的 65,000 名日本公民，他們沒有選擇撤離，而是開始測量並記錄自己的輻射曝露的劑量。科學家在分析這成千上萬的福島縣居民的數據後，得到一個驚人的結論：當初的預估值是實際值的 4 倍之多！

來自美國俄勒岡州立大學核子科學與工程學系的保健物理學家海莉（Kathryn Higley）說：「這項研究是非常重要的，因為在核子事故後進行長時間監測個體受到輻射曝露的案例很少，大多數在事故發生的當下或是不久後就遠離事故地點，要如此大規模分發輻射劑量佩章的成本和難度也很高。在車諾比核災後，烏克蘭等地是有少數的相關研究，但是都受到了部分的限制，並非完整的監測數據。」

日本福島核災的撤離方式

日本在福島核災之前，從來沒有舉行過核電廠周圍民眾的核安演習，所以當事故發生時，整個疏散決策與體系是準備不足、十分混亂的。表 1 是震災發生後的避難指示與時間表。

但是上述的避難方式不是根據輻射外釋的實際情況，像是撤離半徑是訂定為 20 公里，而 20-30 公里是採取在屋內掩蔽的原因，居然是距離福島核一廠 20-30 公里處有個人數較多的城市，是不易撤離的原因才把疏散半徑距離劃到 20 公里就好。

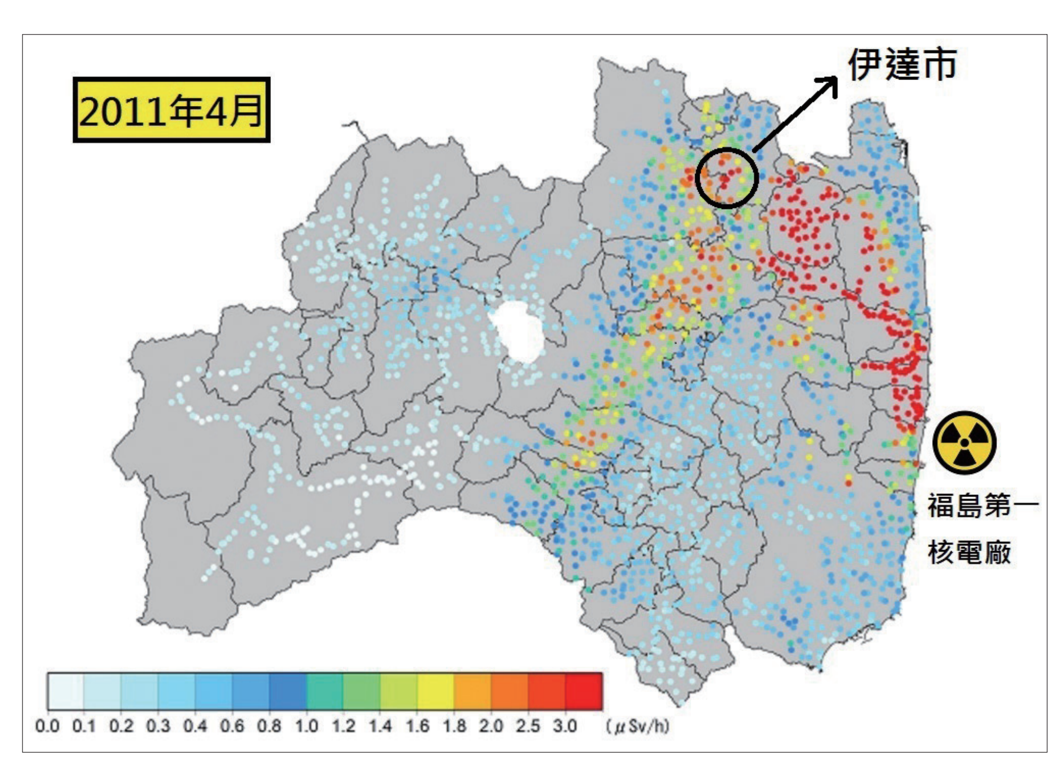
因為輻射外釋的實際情況不是以同心圓的方式外釋，而是會根據風向與地形等影響擴散，圖 1 是福島縣於 2011 年 4 月的輻射分布圖，因為風向的影響，輻射像是以福島核一廠為中心然後條狀往西北方擴散，福島核一廠西方與南方受到的影響幾乎都在 1.0 微西弗 / 時（μ Sv/h）以內，這種劑量之內是不需要撤離的。因為地形等影響，在福島中部的輻射劑量較高，約 1.0-2.0 微西弗 / 時之間，這種劑量會建議採取在屋內掩蔽。

直到 4 月 22 日才依照輻射分布圖訂出計畫性避難區，標準是 1 年內居民遭受曝露的劑量超出 20 毫西弗（mSv）的地區要進行撤離。

表 1. 震災發生後的避難指示與時間表

時間		電廠	指示
3 月 11 日	19：03	福島核一廠	發布核能緊急事態
	20：50	福島核一廠	半徑 2 公里撤離
	21：23	福島核一廠	半徑 3 公里撤離 半徑 10 公里在屋內掩蔽
3 月 12 日	05：44	福島核一廠	半徑 10 公里撤離
	07：45	福島核二廠	發布核能緊急事態 半徑 3 公里撤離 半徑 10 公里在屋內掩蔽
	17：39	福島核二廠	半徑 10 公里撤離
	18：25	福島核一廠	半徑 20 公里撤離
3 月 15 日	11：00	福島核一廠	半徑 20-30 公里在屋內掩蔽

（資料來源：福島縣政府 http://fukushima-radioactivity.jp/pc/）



▲圖 1　2011 年 4 月福島縣的輻射分布圖與伊達市的所在處
（資料來源：福島縣政府 http://fukushima-radioactivity.jp/pc/）

日本這種第一時間沒有依照輻射外釋的實際情況來進行撤離的作法，結果就犯了大錯，將半徑 20 公里內西南方地區的部分居民撤離到西北方地區的村鎮，換言之，日本把低劑量地區的民眾撤離到高劑量地區，反而害他們接受更多輻射劑量！

表 2 是各國緊急應變計畫干預基準的比較，從國際間的干預基準可以看出，日本在 1 年內超過 20 毫西弗就進行撤離的方式比各國都嚴格許多。

撤離的地區之後又細分為「避難指示解除準備區」、「居住限制區」與 50 毫西弗「返回困難區」，表 3 是相對應的定義。我國原能會對於掩蔽、疏散、暫時移居、終止暫時移居等干預基準，如表 4 所示。可見日本的方式是

表 2. 各國緊急應變計畫干預基準之比較

國家	疏散（毫西弗）	掩蔽區（毫西弗）
中華民國	50-100 （7 天）	10 （2 天）
美國	10-50	10-50
英國	100-500	5-25
西班牙	25（小孩、孕婦）100	50
義大利	250	10-50
德國	250	--
法國	50-500	5-50
芬蘭	100	--
比利時	50-500	5-50

（資料來源：原能會）

表 3. 日本各避難區域的相關定義

區域名稱	相關定義
避難指示解除準備區	1. 整年累積劑量 20 毫西弗以下 2. 可行車經過、居民短暫返家或恢復營業（禁止留宿）
居住限制區	1. 整年累積劑量 20-50 毫西弗 2. 除了行車、居民短暫返家與基礎設施重建可進入本區，盡量避免不必要、不緊急的進入。
返回困難區	1. 整年累積劑量超過 50 毫西弗 2. 要求徹底疏散避難，另一方面盡量考慮到居民的需求，可開放臨時進入。

表 4. 我國民眾防護行動之干預基準

應考慮採行的措施	干預基準
掩蔽	可減免劑量於 2 天內達 10 毫西弗以上
疏散	可減免劑量於 7 天內達 50 至 100 毫西弗
服用碘片	可減免甲狀腺約定等價劑量達 100 毫西弗以上
暫時移居	為 30 天之預期輻射劑量達 30 毫西弗以上
終止暫時移居措施	為 30 天之預期輻射劑量在 10 毫西弗以下
永久遷離	終生之預期輻射劑量達 1 西弗（Sv）以上或暫時移居達 1 年以上

（資料來源：劑量評估組作業程序書）

採取非常嚴格的標準。

不過也有專家指出太過嚴格的撤離標準反而對居民不好，像是紐約時報有專文《福島若是不疏散，死亡人數會更少》。日本也有研究指出，避難的居民由於避難生活習慣的惡化而導致糖尿病、高血壓、肝功能障礙、脂質代謝異常等有明顯的增加，也就是為了逃避輻射引起的癌症而避難，反而增加其他癌症的罹患率。

日本福島縣伊達市做的與眾不同選擇

從圖 1 可看出伊達市的所在處，雖然距離福島核一廠 60 公里遠，但是當地的輻射劑量和附近其他進行撤離城市的劑量是類似的水平。不過當時伊達市的市長西田志二（Shoji Nishida）做了一個與眾不同的決定，他選擇不要撤離，然後發放輻射劑量佩章給市民。

西田市長在 2014 年國際原子能總署的一次會議上表示，儘管調查顯示伊達市的輻射劑量跟附近進行撤離的城市是類似的水平，日本政府也沒有強制命令說要撤離，只是建議伊達市要進行撤離。但是他決定採取自己的獨立行

動，而不應該完全依靠政府。他決定進行伊達市的輻射除汙工作，並發放輻射劑量佩章監測個人輻射曝露的劑量，此作法在 2011 年 5 月爭取到日本政府的 10 億日元經費。

西田市長表示，此輻射劑量佩章的大小約一個糖果棒大小，測量放射線的種類為加馬射線。孕婦和 16 歲以下的青少年、兒童是第一批發送輻射劑量佩章的對象，總計有 9,000 名。後來在日本官員的幫助之下擴大了監測的對象，到了 2012 年，幾乎所有約 65,000 名居民都獲得了一個輻射劑量佩章。然後每 3 個月居民會把輻射劑量佩章拿到指定場所進行記錄與更新，總計有超過 52,000 名的居民參加了此次行動，時間至少一年。

日本政府在這段時間對福島縣進行了 6 次輻射調查。方法是在直升機上放測量輻射的儀器去測量地面上的放射性銫，接著研究人員使用比例法將該數據轉換為地面上的估計輻射劑量。因為人們會受到建築物的保護而減少接受輻射的劑量，所以日本政府的科學家假設人們每天有 8 個小時在戶外活動、有 16 小時是在室內，根據此假設，人們接受的輻射劑量有 60%來自地表輻射的曝露。

福島醫科大學的放射學家宮崎（Makoto Miyazaki）和東京大學的物理學家 Ryugo Hayano 從伊達市居民身上的輻射劑量佩章取得了成千上萬的數據，並將這些數據與日本政府用直升機所估計出來的數據進行比較。

實際受到的輻射曝露劑量只有預估值的 1/4

科學家們得出的結論發表在 2016 年 12 月的《輻防學報（Journal of Radiological Protection）》，報告中指出居民實際上受到輻射的曝露劑量大約是直升機測量數據的 15%，和日本政府之前預估的輻射劑量相比只有 1/4。對於兩者差距如此巨大，研究人員提出了幾個原因，主要是「居民每天在戶外的時間沒有 8 個小時這麼多」，顯示進行室內掩蔽措施的成效比想像的好上許多。

對伊達市的居民來說，好消息是他們接受到輻射的劑量遠低於原先的預估，也遠低於建議撤離的輻射水平，甚至對於健康的影響也是微乎其微；壞消息是他們當初花了大把銀子與精神做的除汙工作，例如去除表土與樹皮，很可能是不必要的。

日本福島縣現在管制的區域不到 700 平方公里，包含即將在今年 3 月 31 日 解除管制的飯館村，連距離電廠最近的 3 個輻射監測站—大熊町夫澤、夫澤三區集會所、小入野地區公民館，現在的劑量約為 10 微西弗 / 時，預估年劑量還不到 60 毫西弗。順帶一提，依我國終止暫時移居措施的干預基準，這種輻射水平是可以終止暫時移居的。

研究團隊希望此項研究結果可以幫助其他研究人員更準確地預估輻射劑量，因為採取撤離居民的作法是會伴隨相當大的負面影響。也希望可以幫助那些被撤離的居民，讓他們能更早返回家園，因為用實際值只有預估值的 1/4 來看，福島縣幾乎所有管制的地區都可以解禁了。

資料來源：

Fukushima residents exposed to far less radiation than thought
http://www.sciencemag.org/news/2017/01/fukushima-residents-exposed-far-less-radiation-thought?utm_campaign=news_daily_2017-01-23&et_rid=274666929&et_cid=1121222

■福島事故 6 週年

福島核一廠的輻射在飆升嗎？

譯・張文杰



▲日本福島縣會津若松城

一些媒體在今（2017）年 2 月初時報導，日本福島核一廠的輻射正在飆升，甚至有自稱專家的人士說輻射劑量已經達到難以想像、令人驚訝的程度，福島核災的影響將因此更加嚴重。對此，美國核能學會與電機電子工程師學會（IEEE）等國際專業組織都有為文說明這些說法是在斷章取義。

福島核一廠反應爐內部的現況

當海嘯襲擊福島核一廠導致發生長期電

廠全黑事件時，電廠內的 6 座反應爐只有 1 到 3 號機是正在運轉中。因為長期失去電力導致部分的核燃料熔毀，熔毀的核燃料對 1 到 3 號反應爐中的壓力槽造成損傷、腐蝕甚至熔穿。在這種情況下，熔毀的核燃料與反應爐結構中的非燃料材料會結合在一起，我們稱之為「熔渣」。根據反應爐和腐蝕程度的不同，熔渣的組成也會有所不同。

事故發生以來，東京電力公司（以下簡稱東電）一直積極想確定 1 到 3 號反應爐中每一個熔渣和壓力槽的確切狀態，因為這是東電要清理核能機組的關鍵。

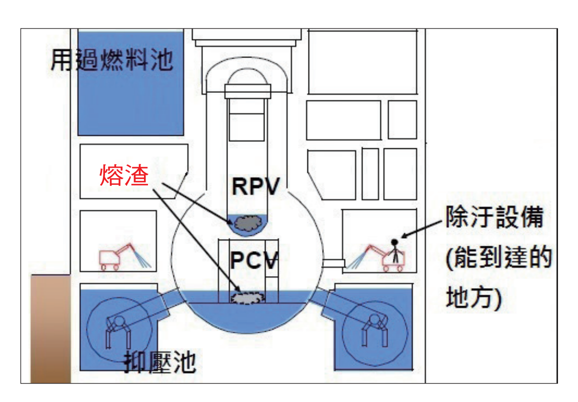
圖 1 是福島核一廠反應爐所在建築物的簡易剖面圖。圖中顯示了簡易的反應爐部件和熔毀的燃料位置，其中有些仍在反應爐壓力槽（RPV）內，然而有些已經熔穿壓力槽，掉到一次圍阻體的基座（PCV）上。上述的情況在 1 號 3 號機中各有不同，有的掉落的熔渣比較多，有的比較少。沒有熔毀的核燃料仍在壓力槽內部，用於控制或停止核分裂反應的控制棒也在壓力槽內。

現在東電已經可以將機器人、攝影機與測量儀器進入熔毀的燃料區域內密閉容器中，並靠近熔毀的燃料，以及對反應爐建築物進行超聲波斷層掃描，以確認壓力槽內是否還有燃料。

東電是用一個遠程控制的機器人，在今年 1 月底時進行了第一次的操作，機器人配備了一個攝影機，裝在 10.5 公尺長的伸縮桿上。圖 2 是 2 號反應爐壓力槽內的相片，可以看到有黑色塊狀結晶的碎石。目前仍在分析是否就是熔毀的核燃料與非燃料材料結合在一起的熔渣。

反應爐內部輻射強度有多高？

由於熔毀的燃料附近有非常高的輻射，



▲圖 1. 福島核一廠反應爐所在建築物的簡易剖面圖

人要靠近熔毀的燃料是不可能的。所以東電一直使用各種機器人、攝影機去接近熔毀的燃料。東電最近公布 2 號機組的進度報告引起了專家關注。

東電官員說核能工程師不是採用直接測量輻射的方法，而是根據所拍攝到影片與相片中的噪訊值對視頻信號的影響，然後去推測出輻射劑量有多少，從之前在實驗室的測試中可知，這方法的誤差值為 30%。

從第一次探測所拍攝的結果得知，最高的輻射劑量是出現在一次圍阻體基座的地方，推估出的輻射劑量約為 530 西弗 / 時。從第二次探測所拍攝的結果，推估出的輻射劑量更是高達 650 西弗 / 時。東電特別強調，之前都是在外部測量輻射，這是攝影機第一次進到內部去探測，所以出現這些數字並不特別令人驚訝。

機器人仍然有受到輻射的影響，導致操作被提前停止。東電官員說：「到目前為止所收集的訊息不該被視為負面的，反而是在幫助這些進行操作的工程師。」工程師團隊正在分析這些資訊，這將有助於決定是否繼續使用這台機器人，以及接下來該如何進行改良。目前沒有進一步的探測計畫，要等到分析完這些資

訊才能做進一步的決定。

專家同意東電的說法

美國核能學會的通訊顧問戴維斯（Will Davis）同意東電的說法，戴維斯有美國海軍核子反應爐運轉員的身分，從福島事故發生以來就一直關注相關進展。

戴維斯在接受 IEEE 的訪問時表示，因為在一次圍阻體基座的部分也有熔渣，所以最高的輻射劑量不見得是出現在壓力槽內，是有可能出現在一次圍阻體基座。而這是人類第一次這麼靠近熔渣去測量輻射，即使誤差範圍有30%，但是一定會出現前所未見的高輻射劑量，東電只是證實了專家已經知道的事情。

目前東電仍在規劃如何清理反應爐內部的階段，這還需要很長時間，還會陸續發現許多新的情況。最後戴維斯特別強調，如此高的輻射劑量是在非常局部的範圍內，對核電廠外的任何人都不會有任何的影響。

媒體標題應該是：東電達到了重要的里程碑

反應爐外部所有的輻射偵檢器數據都沒有任何突然上升或下降的變化，所以媒體不該說福島核一廠的輻射在「飆升」，應該說東電在清理福島核一廠的階段達到了重要的里程碑。



▲圖 2. 機器人所拍攝到疑為「熔渣」的照片

就像是有艘太空船靠著新科技抵達未曾如此靠近太陽的地方，測量到的太陽溫度一定是歷史新紀錄，但是這對地球上的氣溫與生態毫無影響；如果媒體下標題說：「太陽的溫度在飆升」，這將會成為歷史級的笑話。

美國核能學會表示，社交媒體上的熱門話題不一定是正確的，甚至可能是不明智的。在現代網路與媒體發達的情況下，一些社交媒體已經誇張到進入一種新的境界，因為他們的目的是要獲得點擊率來賺錢，所以就算採用誇張不實的內容也要吸引人們的目光，但是實際的事實遠遠沒有那麼可怕與駭人聽聞。人們應該要記住哪些網站和媒體的報導才是具真實性的，這也是我們這些專業組織的存在目的之一，我們會一直提供正確的資訊給社會大眾。

資料來源：

1. 美國核能學會（ANS）網頁：福島第一核電廠的輻射劑量並沒有在「飆升」
Radiation Levels Not “Soaring” At Fukushima Daiichi
http://ansnuclearcafe.org/2017/02/07/radiation-levels-not-soaring-at-fukushima-daiichi/#comments
2. 電機電子工程師學會（IEEE）網頁：核能專家：福島的高輻射估計我們並不感到驚訝
Nuclear Experts: High Radiation Estimates at Fukushima No Surprise to Us
http://spectrum.ieee.org/energywise/energy/nuclear/high-fukushima-radiation-estimates-no-surprise-to-experts

歐洲減排減暖**落實「能源聯盟」**

文・編輯室



歐洲因應氣候變遷的政策

- 人類加速全球暖化導致氣候變遷，已被視為是全球性的問題。
- 國際談判主導政策，儘管國際社會就此事項達成強有力的協議，但在國家層級的合格性或決定性，迄今為止效果有限。
- 主要重點是減少二氧化碳的排放。
- 很少人認為核能是限制溫室氣體濃度增加、同時又能獲得充足電力的重要方法。

與其他類型的污染物不同，溫室氣體排放已經造成全球性的衝擊，不論是在亞洲、非洲、歐洲或美洲地區排放，都會迅速地均勻擴散至全球。這就是為什麼世界各國努力透過國際合作與協議應對氣候變遷的原因。

歐洲「能源聯盟」於 2015 年 2 月 4 日正式啟動建設進程，是歐盟委員會主席容克（Jean-Claude Juncker）的重點計畫，副主席賽科維克（Maroš Šfčovič）則負責執行能源

聯盟的目標。初期的主要目標是使會員國的能源來源多樣化，協助會員國降低對進口能源的依賴，在 2030 年前使歐洲能源使用量下降 27%，在 2030 年以前達到歐洲溫室氣體排放減少 40%，同時使歐盟成為全世界再生能源的領頭羊，帶頭對抗全球暖化。

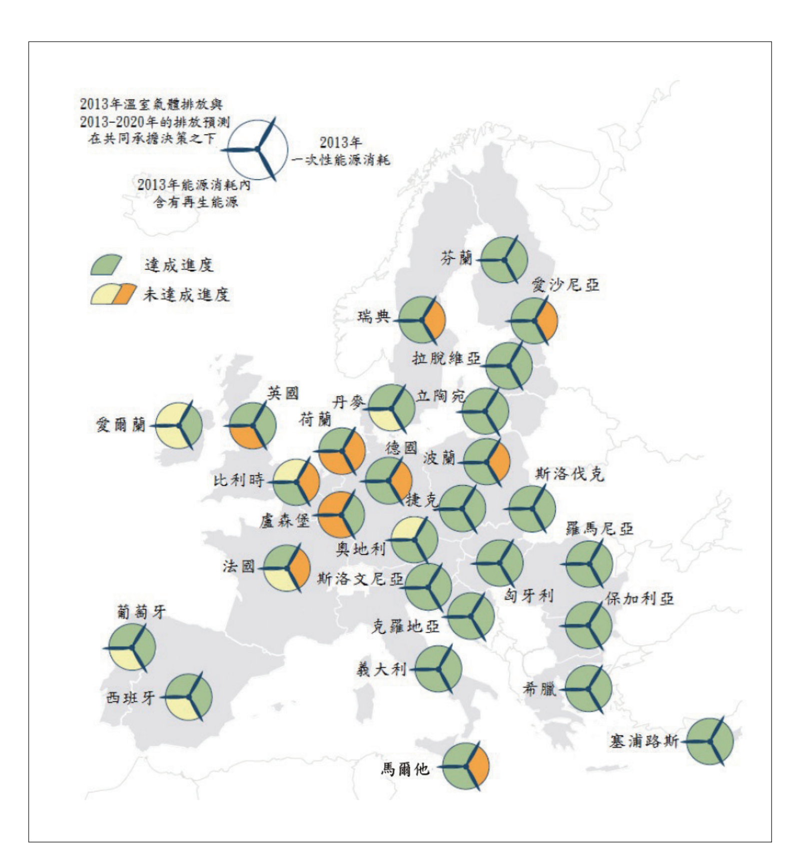
有關歐洲能源聯盟現況的第一份報告於 2015 年 11 月出版，第二份報告則於 2017 年 2 月 1 日出版。賽科維克表示，歐洲能源聯盟不僅涉及能源與氣候變遷，更希望以社會公平、低碳排的方式提昇能源與資源效率，促進歐洲整體經濟基礎的現代化。他補充說，2017 年將是「實施年」。

歐洲能源聯盟擬定 5 大策略：能源供給安全、完全一體化的歐洲能源市場、提昇能源效率有助於緩和需求、脫碳經濟、研究創新與競爭力。報告中提及，這 5 個項目都有助於歐洲能源聯盟的推展。

能源供給安全

長期以來，能源供給的安全性一直是制約歐盟經濟發展的重要因素，早在 1990 年歐盟就提出建立單一能源市場的構想。

根據歐盟統計資料顯示，歐盟會員國 53%所需的能源皆仰賴進口（台灣能源供應則有 97.9%仰賴進口），每年進口能源花費超過 4,000 億歐元（約 13 兆 2,000 億新台幣），相當於每天支出 10 億歐元（約 33 億新台幣）



▲圖 1. 歐盟成員國對 2020 年氣候與能源目標的發展情況（資料來源：EEA, 2015）

進口能源。2013 年起俄羅斯政府在烏克蘭的侵略行動，也是促使歐盟重新思考能源戰略布局的重要原因。自 2003 年至 2013 年間，歐盟會員國持續依賴俄羅斯所提供的天然氣、原油，自俄羅斯進口能源占所有進口能源的比例維持在 30-40% 間，因此歐盟相當積極地希望減少對於俄羅斯的能源依賴。挪威僅次於俄羅斯，是歐盟進口能源第二高的地區。

完全一體化的歐洲能源市場

歐盟也將氣候變遷、能源政策、經濟發展等一併列入考量，這是典型的歐洲整合性思維。一旦減少能源進口依賴程度，除了積極與鄰近國家簽訂能源合作協議之外，另一方面就是必須開發歐盟境內的能源供應。根據歐盟所擬定至 2020 年的政策發展策略（EU 2020），未來歐盟將成為永續且低碳的經濟體，也因此歐盟境內的能源供給開發方案將朝再生能源方向前進，並且兼顧需求面的能源效率提升。

歐洲理事會要求各會員國在 2020 年前，必須達到發電容量至少 10%的電力互聯，也就是每個會員國至少輸配該國發電電力的 10%至其他會員國，預計 2030 年將提高到 15%。此外，加強能源基礎設施建設，實現融資方式多元化，特別是積極發揮歐洲戰略投資基金的作用。

歐洲理事會也將每兩年發布一次能源價格報告，就能源稅政策、價格機制影響等問題進行深入分析，增加能源成本與價格的透明度。

提昇能源效率

能源轉型將伴隨著產業的調整，歐盟也絲毫不掩飾地宣示引領世界的雄心壯志。現階段的政策重點則是提升能源效率。

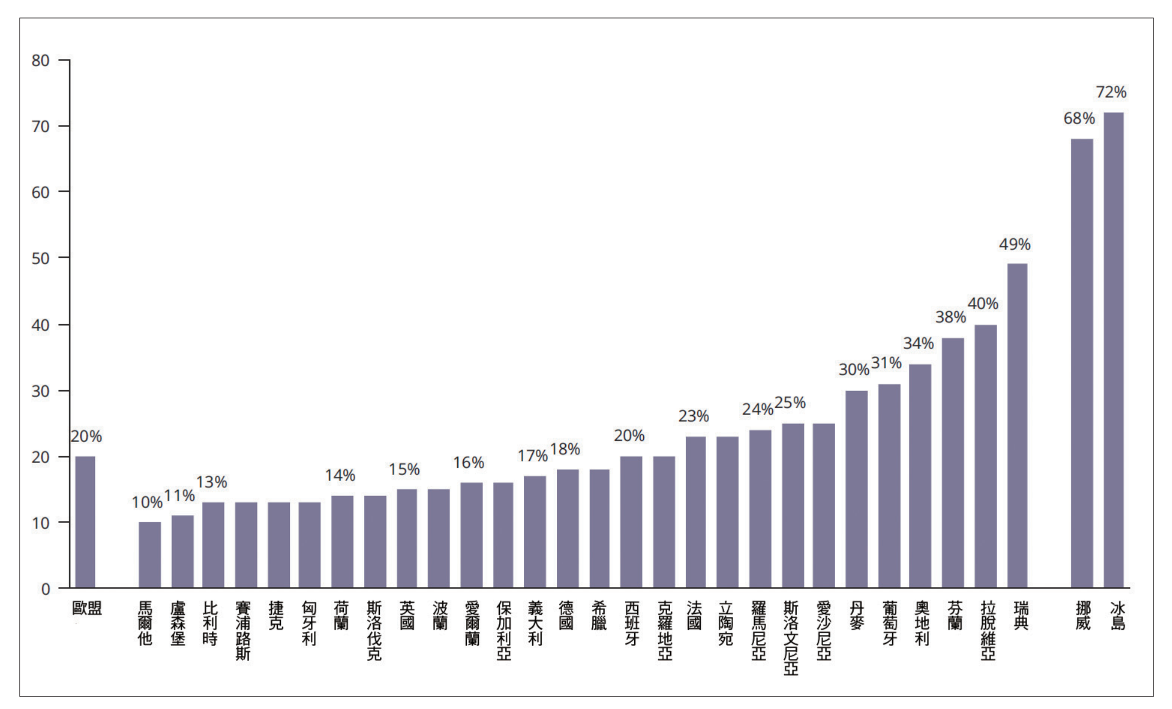
為了提升能源效率，歐盟執行委員會已經陸續發布 4 項相關指令，包含能源效率指令、建築部門能源效能指令、節能設計指令、能源標章指令。這些指令只是提供會員國制定各國政策的參考方向，多數具有相當大的彈性，並不是直接地具體要求會員國需要達到的硬性標準。

為實現在 2030 年前將歐盟能源效率提高至少 27%的目標，歐盟委員會將重點放在改進建築與交通兩大耗能部門。一方面，提高建築部門能源效率，同時，繼續推動發展再生能源和促進低碳經濟的《市長公約》以及「智能城市與社區」。此外，還將簡化現有融資方式。另一方面，將加強推動交通部門節能減排。歐洲交通部門能耗占總能耗比超過 30%，因此歐洲能源聯盟將根據能耗與污染情況制定道路收費標準，並加速推動歐盟交通部門電氣化，倡導替代燃料的研發與使用。

減排與脫碳經濟

歐洲在許多領域一直處於領先的地位，在推動氣候變遷行動方面也是如此。2008 年的政策是「20-20-20」——2020 年二氧化碳排放量減少 20%，再生能源發電量占 20%，能源效率提高 20%。歐盟在實現 2020 年能源與氣候目標方面繼續維持著良好的進展，歐洲能源聯盟的現況報告表示：「歐盟已經明顯降低能源的消耗，如果成員國能持續努力，他們已經逐漸接近 2020 年的能源效率目標，而歐洲經濟的脫碳行動也正在進行。」

2007 年 3 月，歐洲理事會批准了歐盟委員會的「能源評估策略」，並同意 2020 年時歐盟應減少 20%的溫室氣體排放量，相當於 1990 年的水平；早先的承諾是 2012 年時減少 8%，這需要加強並擴大碳交易，以及配置低碳或零碳技術。歐洲理事會也同意到 2020 年



▲圖 2. 歐盟成員國 2020 年再生能源占比的目標（資料來源：Trends%20and%20projections%20in%20Europe%202015.pdf）

時將溫室氣體排放量減少 30%的目標，並表示，如果其他已開發國家承諾同樣的減排量，而經濟較發達的發展中國家，例如印度、巴西、中國則「根據其職責和各自的能力做出充分的貢獻」。當時的法國總統席哈克（Chirac）描述此結果是「歐洲歷史上偉大的時刻之一」。

在巴黎氣候協議生效之後，歐盟委員會通過「清潔能源計畫」，為 2020 年後期制定管制的框架，也大力推動更清潔、經濟的能源。這個計畫「明確顯示歐盟正在加緊努力，逐步取消化石燃料的補貼。」

重點是 2030 年溫室氣體排放量與 1990 年的基準相比應減少 40%，這需要歐盟成員國強而有力的承諾。當前的政策與措施如果徹底實施，到目前為止應該已經減少 32%排放量，因此要達到 40%是可實現的目標。這意味著歐盟的排放交易體系（ETS）所涵蓋的國家從 2005 年至今已減少 43%的二氧化碳排放。

為了達到 2030 年歐盟的氣候與能源目標，在 2020 年至 2030 年期間每年需要投資 3,790 億歐元（約 12 兆 6,000 億新台幣）。因此，2017 年將使用所有可用的工具，加強投資方面的工作。

2 月 6 日歐洲核子貿易機構（Foratom）表示，很高興在能源聯盟現況的第二份報告中看到，歐洲委員會已經瞭解核能在能源安全、低二氧化碳排放與價格低廉的優勢。Foratom 補充說，歐盟的目標是到 2050 年時脫碳經濟將超過 80%，但是「在沒有核電的狀況下很難達標」。

為了確保 2017 年真的是歐洲能源聯盟的執行年，Foratom 敦促歐洲委員會盡快出版「核子溝通案例計畫（PINC）」的最終版本。 Foratom 說，這必須考慮歐洲經濟與社會委員會根據「歐洲原子能聯營條約（Euratom Treaty）」所提出的意見。

研究創新與競爭力

國際能源署（IEA）指出，美國和歐盟之間的能源價格出現巨大差異，歐盟天然氣的價格是美國的 3 倍，電價則是兩倍。歐盟很顯然關注到逐漸喪失的國際競爭力，想從 2020 年再生能源目標相關的補貼計畫中抽身，承認「再生能源的快速發展對能源系統構成新的挑戰」。

歐洲能源聯盟還必須要配備頂尖的能源研究與技術創新，無論是智慧電網、智能居家科技、綠色交通運輸、清潔的化石燃料、安全的核能發電等技術，都可以在歐盟的「展望 2020（Horizon 2020）計畫框架」之下發展。此計畫為期 7 年，將投注近 800 億歐元（近 2 兆 7,000 億新台幣）的經費於研究創新領域。

國際能源署執行理事胡芬說：「在未來的幾十年內，預計歐盟有一半的電力容量將消失。2040 年時，歐盟現有的核電廠因老化有半數將除役，環境法也要求必須淘汰舊的燃煤電廠。」她補充說：「很顯然的，能源體系正面臨著非常快速的變化，必須因應市場設計跨國界的融合發展。」胡芬表示，能源聯盟「提供了巨大的商機」。

Foratom 指出，歐盟一半以上的低碳電力來自 131 個核子反應爐，但歐洲能源聯盟並未在聲明中提及此事。為達成再生能源的目標「扭曲了能源市場，且未能為所有低碳技術創造一個公平競爭的環境。」訂定目標應有一定的技術中立性，因為它們是為整個歐盟、28 個成員國中的每一個國家提出貢獻，各國應有根據自身財務狀況做出不同能源組合的權利。

例如，有個國家想要努力推動再生能源，他可以自由地進行，實現自己的目標；另一個國家可能希望使用核電來脫碳，他應該擁有這種自由，這些國家所實行的脫碳行動也對能源聯盟整體的目標有實質的幫助。Foratom 說，核電是「一種具有競爭力，可靠和基載的能源，將繼續為歐盟能源政策的三大支柱做出重大貢獻。」

歐盟委員會表示，ETS 雖然沒有提供細節，但應該有一個穩定市場的機制。近年來，由於對能源的需求減少以及對現有化石燃料電廠給予大量許可的規定，使得購買一噸二氧化碳排放權的價格一直很低。

目前這些免費配額仍維持不變，但是應該隨著時間的推移，只有收入低於歐盟平均水準 60%的國家可以持續到 2030 年。同樣的，ETS 有 2%的津貼專門用於鼓勵迫切需要的投資，約 10%的配額將指定用於國內生產總額低於歐盟平均水準 90%的國家。

為了支持再生能源目標，這份聲明指出：「間歇性再生能源不斷提高之下，需要更緊密的內部能源市場與適當的備用容量，應在各區域層面進行必要的協調。特別需要關注的是波





羅的海周圍的國家、葡萄牙、西班牙，以及希臘、馬爾他與塞浦路斯島的整體性。實行全面運作與連接的內部能源市場是優先要務，必須視為緊急事項並用盡所有努力。

世界核能協會（WNA）表示，2020 年目標的重要變革是「為成員國提供靈活性，可根據國內的特殊狀況訂定適當的能源組合與能源安全的需求，以便妥善的過渡至低碳能源，同時也允許成員國將成本降至最低。」因此，歐盟委員會將批准英國設定長期電價以助於核電廠投資的計畫。

結語

經過多年的談判，2015 年 12 月巴黎氣候協議終於在 188 個國家之間達成協議，以限制二氧化碳排放。雖然透過國際手段已經達成強制減少碳排的氣候變遷協議，但是在各個國家或區域實施的政策與措施，尚未滿足這些協議所規定的義務與目標。例如：制訂能源效率的標準、鼓勵投資於不會產生碳排放的基礎設施等，碳排放定價仍被視為是提高能源生產與轉型等外部成本的原因。各成員國認知的程度尚未一致，以及能源基礎建設的步調不一，仍需要長期努力才能凝聚內部的向心力、達成共識。

歐盟委員會 2030 年氣候與能源政策框架雖然擺脫了對再生能源的嚴重依賴，但是並未使核電領域發揮更大的作用。委員會的焦點應側重於二氧化碳減排量，而不是限制或偏好某種實現減碳的方式，並思考更多關於成本的實質效益。

目前歐盟所面臨的能源問題並不全出現在內部，而是外部的能源安全問題，根源是歐盟對外部能源的嚴重依賴。俄羅斯天然氣填補了歐洲約 30% 的天然氣需求，因此俄羅斯常常以天然氣供應作為談判籌碼。所以歐洲能源聯盟最大的挑戰將在於「脫俄」的速度。

資料來源：

1.EEA Report No. 4/2015
http://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2015

2.2017/02/14, WNN,
http://www.world-nuclear-news.org/EE-European-Commission-sees-progress-on-Energy-Union-1402175.html

3.2015/02/06, WNN,
http://www.world-nuclear-news.org/EE-Europe-starts-workon-Energy-Union-0602154.html

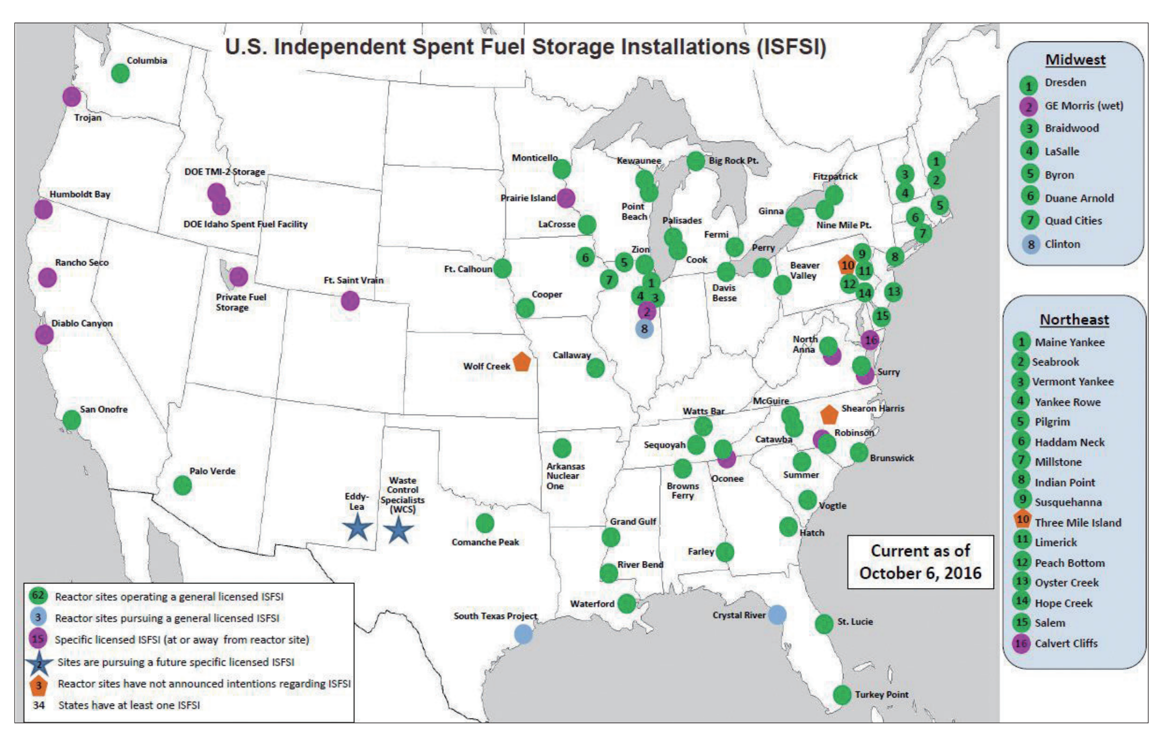
4.2014/10/24, WNN,
http://www.world-nuclear-news.org/EE-Europe-sets-its-energy-goals-for-2030-2410141.html

5.2017/03, WNA,
http://www.world-nuclear.org/information-library/energy-and-the-environment/policy-esponses-to-climate-change.aspx

6.2015/09/13，壹讀，歐盟如何構建歐洲能源聯盟
https://read01.com/GJJOdB.html

美國商用乾式貯存設施介紹

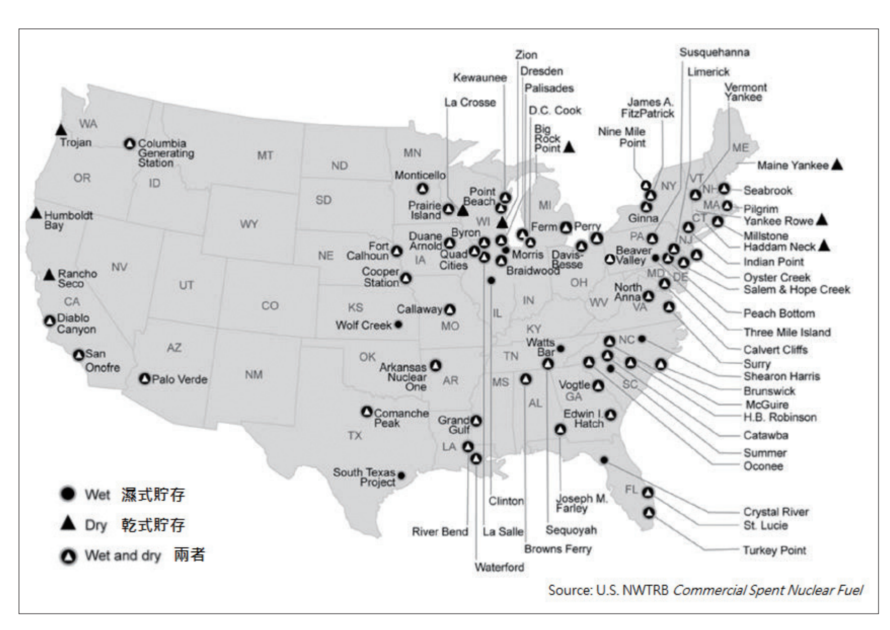
文・編輯室



▲美國 62 座持有一般運轉許可（綠點）與 15 座持有特殊運轉許可（紫點）的用過核燃料中期貯存設施分布圖（截至 2016 年 10 月）（圖片來源：美國核管會 NRC）

用過核燃料在退出反應爐後，因為它的餘熱以及高放射性，必須先在水深約 12 公尺的用過核燃料池內放置數年待其放射性衰變，並以循環冷卻水來移除熱量，這就是用過核燃料的「濕式貯存」；等到用過核燃料束的熱量自數萬瓦降至約 100 瓦左右時則可採用「乾式貯存」的方式，即將用過核燃料移至特殊容器中並貯存在通風良好的地點，利用空氣自然循環帶走熱量。用過核燃料在步入最終處置之前的「中期貯存」，就是由這兩個階段所組成。

在 1970 年代晚期與 1980 年代早期這段時間，美國各核電廠內的用過核燃料池逐漸接



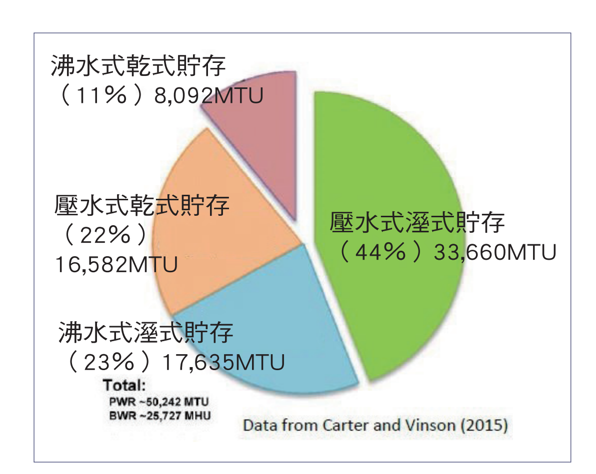
▲美國商用用過核燃料乾式貯存（ISFSI）與濕式貯存（用過核燃料池）設施分布圖（圖片來源：美國審計總署 2012 年報告 GAO-12-797、美國聯邦放射性廢棄物技術評估委員會 2015 年更新）

近貯滿的狀態，替代貯存空間的需求不斷上升。而美國核能管制委員會（NRC）所核准「擴充燃料池貯存容量」的方式卻只有兩種，除了重新調整池內燃料的網格配置，縮小用過核燃料之間的間距之外，只有移除池內用過核燃料棒的外殼，來增加燃料池的可貯存容量。而這兩種異動也都需要事先向 NRC 申請，獲得批准後才可執行。

因為無法實質的「擴建」用過核燃料池，加上商用用過核燃料再處理廠一直無法成功建立，美國電力公司開始尋找如「乾式貯存」的替代方案，增加用過核燃料的可貯存容量。1986 年，建於美國西部維吉尼亞州沿岸的蘇瑞（Surry）核電廠的乾貯設施獲准商轉，成為美國首座商用乾貯設施。至今美國的商用用過核燃料存放於境內超過 60 座持有一般運轉許可與 15 座持有特殊運轉許可的商轉用「用過核燃料中期貯存設施（ISFSI）」中。這些設施由約 30 間的電力公司負責營運，主要集中在美國東部與東北部，分布在美國 34 個州內。

用過核燃料中期貯存設施

持有一般運轉許可的用過核燃料中期貯存設施都設立在核電廠內，當電廠的用過核燃料池接近貯滿時，就可將用過核燃料池中完成冷卻的用過核燃料轉移至這些乾式貯存設施中；持有特殊運轉許可的則是那些沒有與運轉中核電廠連接在一起的中期貯存設施，大部分均位在已完成除役的核電廠內，少部分的集中式用過核燃料中期貯存設施（CISF）也屬於此類，電廠營運廠商也可將用過核燃料運送至這些地方作乾式貯存。這些中期貯存設施均是以「長期存放用過核燃料」為目標來設計，確保用過核燃料在轉移至深層地質處置場前，能安



▲美國沸水式（BWR）與壓水式（PWR）反應爐生產之商用用過核燃料乾、濕式貯存估計數量與百分比（截至 2015 年底，單位：公噸鈾）（圖片來源：美國聯邦放射性廢棄物技術評估委員會 U.S. NWTRB）

全的存放數十年、甚至一百年的時間。

根據美國聯邦放射性廢棄物技術評估委員會（U.S. NWTRB）的數據顯示，截至 2015 年底，美國共有約 8,000 公噸鈾的沸水式反應爐（BWR）用過核燃料以及約 16,500 公噸鈾的壓水式反應爐（PWR）用過核燃料，是用乾式貯存的方式儲存在中期貯存設施中，占所美國有用過核燃料貯存的 1/3，剩下 2/3 的用過核燃料則使用濕式貯存的方式，儲存在各核電廠的用過核燃料池裡面。

運輸、貯存容器

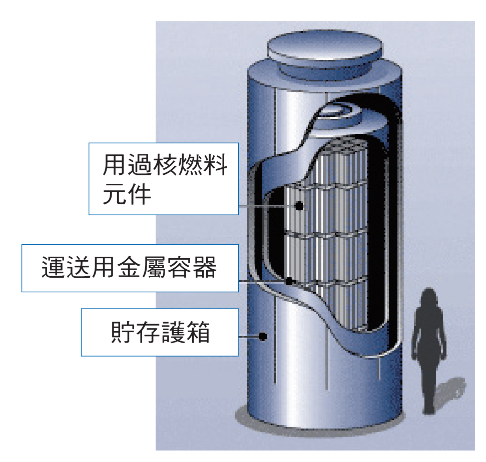
將用過核燃料自燃料池轉移至乾式貯存系統前，大多數廠商都會選擇將用過核燃料裝入特製的「運輸用金屬容器（Canister，以下簡稱鋼桶）」，在桶中灌入惰性氣體後使用焊接密封，再將鋼桶轉移至附近、有屏蔽效果的貯存護箱（Storage cask）內貯存。每座鋼桶可以裝置約 30-90 組不等的燃料元件，數量依不同鋼桶的設計而有差異。目前核管會已批准超過 50 種設計的鋼桶，但沒有一種獲准用在最終處置方面。

美國可以說是全球使用乾式貯存最多元化的國家，在國際上最常見的 4 類乾貯系統：混凝土護箱、混凝土模組、混凝土窖與金屬護箱等，在美國的貯存設施中均廣泛被使用，下面將簡略介紹這些乾貯系統。

一、混凝土護箱

混凝土護箱是由鋼筋混凝土製的圓柱狀體以及頂蓋所構成，護箱上下方均設有排氣孔，保持空氣流通並帶走用過核燃料釋放的餘熱，護箱使用「垂直」的方式來擺放。這種乾貯設施的主要設計有 3 種，分別是直接在平地興建鋼筋混凝土廠房，將混凝土護箱排列在廠房內；第二則是不興建廠房，直接將混凝土護箱排列於地上；第三為在地面開挖與混凝土護箱幾乎同高的坑洞，將護箱排列於其中，護箱頂端會稍微低於地面，待所有護箱完成安置後隨即在周圍澆灌混凝土，將坑洞填滿。

護箱的大小會因不同種類的設計而稍有



▲乾式貯存護箱透視圖（圖片來源：核管會 NRC）



▲位於佛蒙特州 Vermont Yankee 核電廠（上）、康乃狄克州 Haddam Neck 核電廠（中）的地表混凝土貯存護箱，以及密蘇里州 Callaway 核電廠的地下混凝土貯存護箱（圖片來源：Entergy Corp., DOE, Holtec International）

不同，美國所使用的混凝土護箱的高度大多介於 3 公尺至 5 公尺間，含鋼桶以及外圍混凝土護箱的直徑則介於 2 公尺至 3.5 公尺之間，每個護箱可貯存 1 座鋼桶。不同種設計之護箱，其下方的混凝土筏基與周圍排水壕溝的配置也會有所不同，在貯存設施附近也必須設有燃料轉移設施、運輸通道、運輸車卸載區等，而護箱外圍會再使用鏈結式鐵網做成圍籬，防止未經授權人員意外進入。

二、混凝土模組

混凝土模組式的貯存方式與混凝土護箱式的非常類似，也是在一座露天、長方形的鋼筋混凝土平台上，建造混凝土模組體，最大不同之處就是模組式貯存設施是採用「水平」的方式來貯存含有用過核燃料的鋼桶，廠商可選擇用二列單排或二列並排的方式來建造模組體。

在每兩列模組體之間必須相隔一段固定的距離，以便載送貯存罐的車輛進行卸載的工作，卸載區的道路則由瀝青混凝土鋪設而成。與其他乾貯設施相同，每個模組體僅可貯存 1 座鋼罐。

不同模組式貯存設施高度的落差比護箱式的縮小許多，高度均介於 4.5 公尺至 5 公尺之間。由於混凝土模組的外圍亦無遮蔽物，排水系統的設計需包含模組體之間的雨水下水道，以及周邊的雨水收集系統等，周圍也一樣會使用鐵網做成圍籬，防止意外闖入。

三、混凝土窖

混凝土窖式貯存設施通常建於廠房內，設置在貯存窖正上方的上層結構覆蓋整個運輸鋼桶接收區，確保起重吊運機能在設施內部正常運作。上層結構以鋼架為主，外圍的牆壁與屋頂則是由金屬製造而成，主要用來遮擋風



▲位於康乃狄克州 Millstone 核電廠的混凝土模組乾貯設施
（圖片來源：Dominion Nuclear Connecticut Inc.）



▲位於克羅拉多州 Fort St. Vrain 電廠的混凝土貯存窖
（圖片來源：DOE）

雨，並不是設計供輻射或實體防護之用。

混凝土窖式貯存設施建於地面下，整個設施可劃分成數個模組，每個模組內建有數十根金屬製貯存管，單一個模組即可貯存數百組的核燃料元件。廠房內設有鋼桶接收區以及卸載平台，因鋼桶在抵達接收準備區時仍維持密閉的狀態，在此處並不需要特別設置輻射屏蔽。廠房建築使用厚度足夠之鋼筋混凝土牆壁，主要是為了使其具備抵擋因颶風所導致的飛射物撞擊的能力。

另外，在廠房的最高處還設有大型排氣口，確保用過核燃料的餘熱可透過廠房的特殊設計、藉由空氣流通而散出。設施入口處的機械式鐵捲門分別位在接收區的兩端，運輸車輛採穿越的方式進出。

四、金屬護箱

金屬護箱式貯存設施的概念與混凝土護箱類似，也是以「垂直」的方式露天放置護箱，但鋼桶外圍的屏蔽容器則使用「金屬材質」來製造，因此有些金屬護箱亦獲准當作「運輸容器」來使用。

根據美國能源部（DOE）的估算，截至 2016 年底，美國乾式貯存的用過核燃料元件



▲ Holtec 公司所製造可同時用於運送及貯存的金屬貯存護箱
（圖片來源：Holtec International）

國際間最常見的 4 種用過核燃料乾式貯存系統

混凝土護箱式（Concrete Cask）	金屬密封容器盛裝用過核燃料後，置入混凝土護箱，具有操作方便特性，為目前國際間普遍採用的型式。
混凝土模組式（Concrete Module）	金屬密封容器盛裝用過燃料後水平置放於混凝土模組，共用混凝土屏蔽節省空間，但操作較不方便。
混凝土窖式（Concrete Vault）	金屬密封容器盛裝用過燃料，置放於混凝土庫房內之地窖。
金屬護箱式（Metal Cask）	金屬密封容器及屏蔽材料均為金屬材料（不銹鋼、碳鋼），成本較高，但可兼用於運送容器。

資料來源：行政院原子能委員會

有超過 90,000 束、體積約 25,000 公噸鈾，儲存在超過 2,000 組的乾式貯存設施內，其中混凝土類占了近 9 成，又以混凝土護箱為最多，金屬護箱僅占不到 1%，剩下不到 10% 則是使用「裸燃料護箱（Bare fuel casks）」來貯存用過核燃料，即直接將沒有封裝在鋼桶中的燃料元件，儲存在用完整屏蔽、防漏的容器包圍的燃料籃中。

乾貯護箱的種類與設計主旨

貯存護箱的種類非常多，而且每一個型號都有自己獨立的編號，上面僅大略介紹最常見的幾大類。護箱的設計會依照各製造廠商因不同的需求而有所不同，貯存核燃料的種類（壓水式或沸水式反應爐）、用途（運輸、貯存，或兩者兼用）、方向（垂直或水平）、布署方式（在地面的水泥地上或地面下）等，都是護箱種類眾多的主要因素。根據核管會網站顯示，目前由核管會核准用於一般用途的乾貯護箱系統就有將近 30 種。其中最大的兩大供應商為 Holtec International 以及 Transnuclear, Inc.（現今為法商亞瑞華其中一個部門 AREVA TN），目前美國運轉中乾貯設施中的護箱有 85% 是由這兩間廠商所供應。

貯存護箱設計的主旨是用來容納放射性物質、控制熱度以及避免核分裂的狀態發生，同時也必須可以承受地震、颱風、洪水、拋射物、極端溫度等狀況。裝有用過核燃料貯存護箱所生產的熱度其實比一般家用暖氣系統散發出來的還要少，不僅是熱度，其放射性也會隨著時間自然降低。

利用空氣自然對流的作用，乾貯設施並不需要任何風扇或泵的輔助，也不需要擔心水池的高度，更不會有停電與機械故障的問題，僅需要持續的監管，這也是有「乾式貯存比濕式貯存來的安全」這個說法的主要原因。

管制單位

核管會身為美國用過核燃料貯存（包含貯存設施）的管制機構，除了頒發用過核燃料運輸、貯存護箱的運轉執照之外，用過核燃料的運送路線、保防計畫等也都需要核管會事先批准才可執行，用過核燃料的最終處置也在核管會的管轄範圍內。

核管會表示，裝載於 1986 年的美國首座用過核燃料乾貯護箱，至今沒有任何的輻射外

洩影響到周圍民眾或汙染到環境，也沒有任何已知或疑似有人企圖破壞乾貯設施的案例。多年來不斷對乾式貯存用過核燃料與護箱組件的測試，都證實「乾貯設施可安全貯存用過核燃料」。核管會也對乾式裝載、貯存用過核燃料的風險進行分析，結果顯示潛在的健康風險非常小，在乾貯設施周圍接受到的輻射劑量比照一次牙齒 X 光還要低。

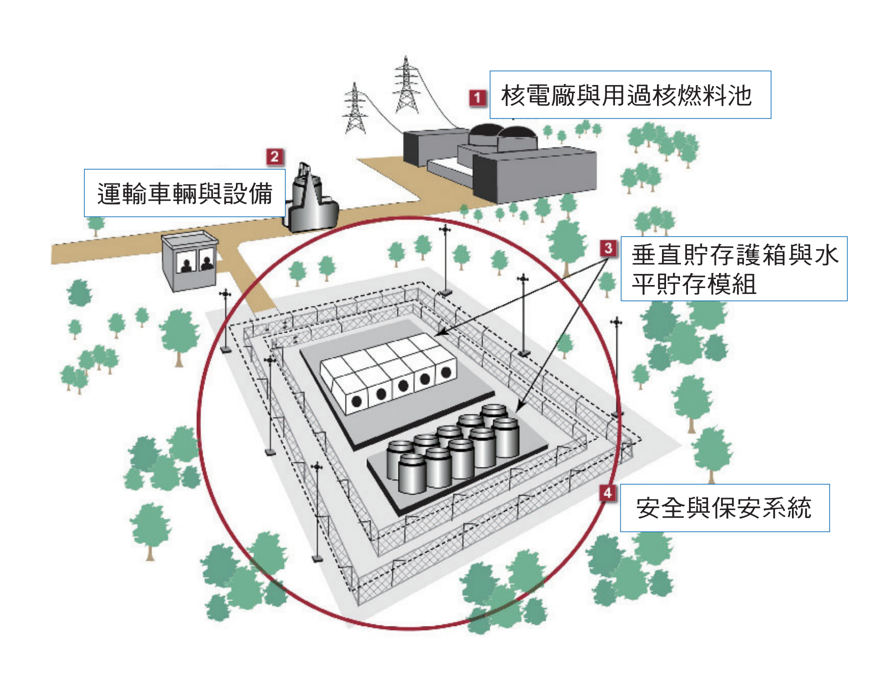
不過，雖然核管會覺得用過核燃料乾式貯存對人類或環境都是安全的一種貯存方式，但不管是用過核燃料的運輸還是貯存，或是護箱的設計、製造與使用等，整個過程都受到核管會嚴格的控管與監督，確保設施營運廠商以及供應廠商完全遵守安全規範。

乾式貯存的需求不斷上升

在前文有提到，美國目前使用乾式貯存的用過核燃料僅占所有用過核燃料中的 1/3，但由於美國商用再處理廠一直無法建立，原先預計於 1998 年建好的「雅卡山（Yucca Mountain）用過核燃料最終處置場」計畫也遭到終止，導致各電廠都無法按照原先預計的時程來進行處置，乾貯設施的需求也因此不斷往上爬升。

根據美國核能研究所（NEI）公布的數據顯示，預計在 2024 年時美國乾式貯存與濕式貯存用過核燃料的數量會接近相同，均是約 48,000 公噸鈾；在 2040 年時會有 7 成的用過核燃料被貯存在乾貯設施裡，數量約為 89,000 公噸鈾，濕式貯存的用過核燃料數量將下降至約 39,000 公噸鈾；到 2067 年時（假設所有目前運轉中核電機組都已停役）美國幾乎所有的用過核燃料都會貯存在乾貯設施內，數量約是 139,000 公噸鈾，由此可見未來乾貯設施需求的趨勢。

目前國際間也只有芬蘭與瑞典在「最終



▲一張圖解釋美國運轉中核電廠內常見的乾貯設施運作模式
（圖片來源：美國審計總署 2014 年報告 GAO-15-141）

深層地質處置場」有實質的計畫，由此可見，不僅美國，全球大多數使用核能發電的國家都正面臨乾貯需求上升的情況。

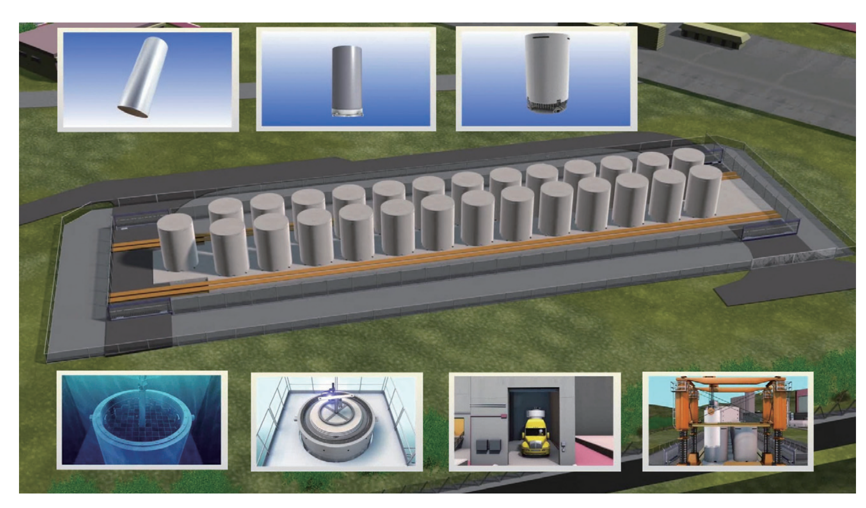
結語

美國在過去這段時間以來已累積了大量的乾貯相關經驗，在這方面的技術也非常成熟，直到最終深層地質處置場有眉目之前，擁有完整、安全的乾貯系統可說是至關重要。也因如此，我國的核一廠乾貯設施選擇採用美國技術轉移，使用由美國 NAC 公司製造、核管會審查認證通過的 NAC-UMS 混凝土護箱系統，來規劃核一廠內的乾貯設施。但是，無論是哪一種形式，用過核燃料中期貯存設施在施工、運轉期間都有可能會對周遭環境的生態、空氣品質、水文與水質、地形與地質、經濟、輻射等帶來影響，必須有周詳的環境管理計畫及各種防範機制，將各種不利的影響減輕至最低，確保乾貯設施對周圍居民及環境均安全無虞，才可啟用。

註：美國的高放射性廢棄物除了商用核電廠所生產的用過核燃料之外，還有儲存在能源部旗下綜合貯存設施裡面、隸屬於政府的用過核燃料以及核武相關的高放射性廢棄物，本文僅探討美國商用用過核燃料的乾貯設施。

資料來源：

1. U.S. Nuclear Regulatory Commission. “Storage of Spent Nuclear Fuel.”
2. U.S. Department of Energy. “Dry Storage Cask Inventory Assessment, Revision 2.”
3. Joe T. Carter, U.S. Department of Energy. “Containers for Commercial Spent Nuclear Fuel”
4. U.S. Nuclear Waste Technical Review Board. “Commercial Spent Nuclear Fuel.”
5. U.S. Nuclear Energy Institute. “Safely Managing Used Nuclear Fuel.”
6. Power Magazine. “Dry Cask Storage Booming for Spent Nuclear Fuel.”
7. 台灣電力公司《核能電廠用過核燃料中期貯存環保管理措施出國報告》



▲我國乾式貯存設施示意圖（圖片來源：台灣電力公司）

輻射會致癌嗎？

文・蔡春鴻

生活中沒什麼可怕的事，只有需要被瞭解的事，現在理當多一分瞭解，才能少一分擔心害怕。

——Marie Curie（居里夫人）

去年 11 月 27 日我的手機 LINE 某好友群組傳來短訊：

「好友轉傳：今天下午母校 56 年班核工系李姓學弟主動來電告知：日本核污染食物中含有鍶 90 與銫 137（半衰期 30 年），進入身體後可能會患血癌與骨癌，難以醫療。建議我一定要告誡兒女與孫輩，1. 千萬不要購食來自日本的食品與海產品；2. 不要去吃「旋轉的壽司」。我們已年老，來日不多；兒女與孫輩來日方長，得了輻射相關癌症，疾病纏身，沒完沒了，個人與家庭的幸福全完了。

我覺得李學弟就專業的觀點，本著良知懇切地告訴我，令我十分感動，除了已告知兒孫，特地轉告好友們參考。」

我立即回 LINE 如下：

「紫外線因為會導致皮膚癌，已被 WHO 下屬的國際癌症研究機構（IARC）歸類為一級致癌物，所以您會因為太陽光含有紫外線而告誡兒孫不能曬太陽嗎？我想您不會，因為您知道只要不曝曬『過量』紫外線是不必擔心皮膚癌的。您不會因此就被陽光嚇死，那是因為您瞭解紫外線。」

我畢業於國立清華大學核工系 72 級，是核工系大學部第 5 屆，從沒聽過有「56 年班核工系」，不過探討上述短訊內容真偽以及日本進口食品的問題不是本文的重點，以下我想來探討「輻射是不是會致癌」的問題。



致癌物不表示只要一接觸就會致癌

國際癌症研究署（International Agency for Research on Cancer，簡稱 IARC）是世界衛生組織（WHO）下屬的一個跨政府機構，其主要任務是進行和促進對癌症病因的研究，也進行世界範圍內的癌症流行病學調查和研究工作。這一機構還負責編纂關於各種因素會導致提高患癌機率的專題論文集，他們根據流行病學調查研究和動物實驗證據的充足程度將這些致癌因素分為 5 個等級。

上面短訊提到因日本福島事故外釋的核輻射物質（屬游離輻射）和紫外線（屬非游離輻射）均被歸類為一級致癌物，是因為兩者都被證實有可能直接或間接傷害 DNA。截至 2016 年 12 月底為止，共有 119 種物品被 IARC 歸類為一級致癌物，包括酒精、香菸、檳榔、空氣懸浮微粒 PM2.5、加工肉品香腸火腿…等等。為 IARC 認定是「確定」的致癌因子，但並不意味著其中每一種致癌物各自的致癌風險均在同一水平，更不表示只要一接觸就會致癌。可是一般的媒體在報導某種物品被 IARC 列為致癌物時，往往不明確指出是屬於哪一級別，也不會特別強調致癌風險和接觸的量是有相關的，因此，對於我們較不熟悉的物品，或是我們不易自我掌控的、或不自覺會接觸到的致癌因子，就很容易產生恐慌。

游離輻射容易引起恐慌

誠如我在上面短訊提到的，由於一般人對紫外線較了解，知道如何避免過量的曝曬（撐傘或擦防曬油），所以不會因紫外線屬於





玉山國家公園輻射地圖

▲天然背景輻射也會受到地質影響，原能會在陽明山國家公園進行輻射偵測，繪製成陽明山國家公園輻射地圖：陽明山大部分地區的輻射劑量率約在 0.08-0.09 微西弗 / 時；而地熱谷的某特定位置背景輻射劑量值略高，為 0.102 微西弗 / 時。整個陽明山國家公園山系海拔不高，所以宇宙射線的變化不大，背景輻射的變化主要來自地質和溫泉的影響。

一級致癌物就引起恐慌，但是，一般人對游離輻射的了解比較有限，再加上媒體常誇大游離輻射的傷害，又常強調「輻射看不到、摸不到、聞不到」，因此就容易引起恐慌。但事實上輻射是可以測量得到的，而且和其他一級致癌物一樣，過量才會有致癌的可能。問題是，多少量的游離輻射是安全的呢？

從法規的內容來看，一般民眾的游離輻射法規限值是 1 毫西弗 / 年，也就是說民眾 1 年接受 1 毫西弗劑量以下是安全的、是不會致癌的。科學家針對受原子彈和輻射汙染區的民眾做長期的追蹤，並進行流行病學與生物實驗研究，發現 200 毫西弗以上才會有明顯輻射致癌相關性的證據。然而法規也同時保守根據高輻射劑量的致癌風險數據往下外插，來推估低劑量輻射的風險；換言之，在 100 毫西弗以下的致癌機率因易受其他因素干擾，不易驗證是由輻射所引起。從另一方面來看，由於自然界本就存在有游離輻射，因此 60 多年來科學家也根據針對天然背景輻射的流行病學研究來探討低輻射劑量的健康效應。

玉山、陽明山溫泉區沒有較高癌症發生率

在自然環境中宇宙射線和地表礦物質都會產生游離輻射，我們稱為天然背景輻射；台灣地區海平面的天然背景輻射劑量率約為 0.04-0.08 微西弗 / 時。原能會在玉山國家公



陽明山國家公園輻射地圖

▲因海拔高度或地質影響而增加的微量天然背景輻射，均為正常現象，對民眾健康沒有不良影響。台灣各地的天然背景輻射最高和最低相差達 3 倍，而長年住在如玉山或陽明山或溫泉地區等天然背景輻射較高地區的民眾，也沒有因為接受較高的天然背景輻射而有較高的癌症發生率。

園進行輻射偵測，繪製成玉山國家公園輻射地圖：嘉義觸口海拔 238 公尺測得劑量率為 0.096 微西弗 / 時，沿著阿里山公路前進，到阿里山森林遊樂區高度 2,182 公尺的劑量率為 0.117 微西弗 / 時，再往上到高度 2,631 公尺的塔塔加遊客中心，其劑量率為 0.137 微西弗 / 時，顯示天然背景輻射隨著海拔高度的增加而增加，乃因其來自宇宙射線之故。

輻射特別高地區，未發現異常癌症發生率

世界各地天然背景游離輻射也有很大的差異：聯合國輻射效應科學委員會（United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR）統計全世界各地的天然背景輻射值，以毫西弗 / 年為單位，美國為 3.0、英國為 2.2、日本為 1.48、我國為 1.62，而全球平均為 2.4 毫西弗 / 年。報告中也指出多處天然背景輻射特別高的地區，如印度喀拉拉邦（India Kerala, 1-45 毫西弗 / 年）、伊朗拉姆薩（Iran Ramsar, 最大值 132 毫西弗 / 年）、巴西米納斯吉拉斯（Brazil Mineas Gerais, 7 毫西弗 / 年）、中國大陸廣東陽江（China Yangjiang, 平均 5.8 毫西弗 / 年），科學家追蹤調查這些天然背景輻射特別高的地區，並未發現有異常癌症發生率。國際放射防

護委員會（ICRP）訂定的一般民眾輻射劑量標準（不含天然輻射）是每年 1 毫西弗，遠低於全球各地的天然背景輻射的變異值，也相較於台灣每年每人會接受到天然輻射的劑量約 1.6 毫西弗為低。

國民十大主要消費食物均含有鉀 40

在人體和食物內最主要的天然放射性核種為鉀 40，一般國民十大主要消費食物如米、豬肉、蛋、蔬菜、水果、麵粉、雞肉、海魚、淡水魚中，均含有鉀 40。若以富含鉀 40 的香蕉為例：1 根香蕉等效劑量為 0.0778 微西弗。計算的依據主要是天然鉀當中約有 117/10000（0.0117%）的放射性鉀 40；鉀 40 由於半衰期長達 12 億 5 千萬年（地球壽命為 45 億年），因此每 1 公克天然鉀中，約含有 31 貝克（放射性活度單位）的鉀 40。而 1 根香蕉中，平均而言約含有 0.5 公克的天然鉀，所以每根香蕉約含有 15.5 貝克的放射性鉀 40。

再依據美國環境保護署（US Environment Protection Agency，EPA）提供的轉換因數，每貝克的鉀 40 平均對每個成年人造成的等效劑量為 0.00502 微西弗，所以 1 根香蕉的等效劑量 =（15.5 貝克）（0.00502 微西弗 / 貝克）=0.0778 微西弗。因此 1000 微西弗（1 毫西弗）/0.0778 微西弗 / 根 = 12,853 根香蕉。也就是說，一位成年人一年必須吃下 12,853 根重量為 150 克的香蕉，而且都不排出去，才會接受到相當於法規劑量限值（1 毫西弗 / 年）的輻射劑量。

避免重複或非必要的醫療輻射曝露

除了天然輻射和食品中可能接觸到的輻射之外，我們可能接觸到輻射劑量最高的就是



來自醫療（診斷與治療）設備。早期對於醫療輻射的安全防護，著重在屏蔽的設計和操作人員的訓練，目的在保護工作人員和陪同的病患親屬，對病人而言因考慮醫療的需要，病人所接受的輻射劑量並未在管制之列（上述一般民眾的游離輻射法規限值 1 毫西弗 / 每年並未包括天然輻射和醫療輻射）。

可是近十年來推動的醫療輻射曝露品保制度就是在確保醫療品質的原則下，希望將病患接受的輻射劑量減到最少。要成功的執行醫療曝露品保作業，必須有完整的一套制度和規範，包括執行方法、程序、執行人員、醫院監督管理組織等，同時定期對輻射醫療儀器進行測試，確保其輻射輸出與影像品質。

目前納入醫療曝露品保法規，須依法施行品保作業的設備共計有 11 項，包括放射治療用的直線加速器、電腦刀、電腦斷層治療機、加馬刀、遙控後荷式近接治療設備，以及鈷 60 遠隔治療設備。另外，放射診斷的設備包括乳房 x 光攝影儀、電腦斷層掃描儀（分為診斷用、核醫用、放射治療用）、x 光模擬定位儀等 5 類也已納入。只要民眾和醫師注意避免重複或非必要的醫療輻射曝露，不需擔心醫療輻射會致癌的問題。



游離輻射過量才會有致癌的可能

總而言之，游離輻射和其他一級致癌物一樣，過量才會有致癌的可能。自然環境中本來就存在有各種來源的天然背景輻射，而不同地區的民眾並未因為生活在不同劑量的天然背景輻射而有不同的致癌率，以此天然背景輻射的變動範圍和累積超過半世紀的流行病學與生物實驗研究做為基礎所訂定的輻射安全規範，可以確保包括核電和醫療輻射在內等人為輻射的安全使用，可以不必過度恐慌。

最後我引用居禮夫人的一句名言：

Nothing in life is to be feared,
（生活中沒什麼可怕的事）
It is only to be understood.
（只有需要被瞭解的事）
Now it's the time to understand more,
（現在理當多一分瞭解）
so that we may fear less.
（才能少一分擔心害怕）
——Marie Curie（居里夫人）

（本文作者為國立清華大學榮譽特聘教授）

什麼是**放射性和輻射？**

文・朱鐵吉



社會上因某種名詞用法的錯誤，有時會引起意想不到的問題。術語的使用方法也不例外，由於術語的誤用，有時也會產生社會的混亂。「放射性」和「輻射」這兩個術語的使用不當便是個很好的例子。

放射性，日語為放射能、輻射或稱放射線（源於日語），在大眾媒體中，這兩個術語經常混淆使用。要說是任其亂用而無人過問，這並不過份。長此以往，導致社會人心的混亂，尤其是「輻射」被誤用的情形最為嚴重。

為了說明放射性和輻射的完整觀念，本刊將以問答題的方式一一說明，陸續刊出。

問 1、輻射究竟是什麼東西？

答：輻射並不是東西（物體），不過可以理解為「它是眼睛看不見，具有很強能量的光之類的東西。」圖 1 表示電磁波的種類、名稱與頻率的關係。

在電磁波中，頻率最低的稱為電波，頻率最高的稱為 γ 射線（加馬輻射）。可見光是人類眼睛能感受到的電磁波，頻率是用來表示振動的快慢。表示一秒鐘內振動的次數。所以，電磁波的能量隨其頻率的增高而增大。

電磁波有長波、調幅（AM）廣播用的中波、短波、調頻（FM）廣播或電視用的超短波（VHF）、微波爐或電視用的極短波（UHF），極短波也叫做微波。電磁波的傳播速度與光速相等。

比電波的頻率更高的，也就是能量更高的有紅外線和紫外線。紅外線可使皮膚有熱感，紫外線是可使皮膚變黑的電磁波。能量再高的電磁波就是 x 射線和 γ 射線。電磁波向四面八方輻射出去，廣義地說，從電波到 γ 射線的電磁波都稱為輻射；而通常狹義所稱的輻射是指高能的 x 射線和 γ 射線。換言之，電波、紅外線、紫外線和輻射都是同一類型，只是能量高低不同而已。

問 2、輻射有幾種？

答：輻射除上述的 x 射線和 γ 射線外，還有 α 射線、β 射線、宇宙射線、電子輻射等多種。表 1 所列出的是將 α 射線、β 射線、電子輻射、中子輻射等稱為粒子輻射，而把前面敘述的 x 射線和 γ 射線稱為電磁輻射。

表 1. 輻射的種類

電磁輻射	x 射線和 γ 射線
粒子輻射	α 射線、β 射線、電子輻射、中子輻射等

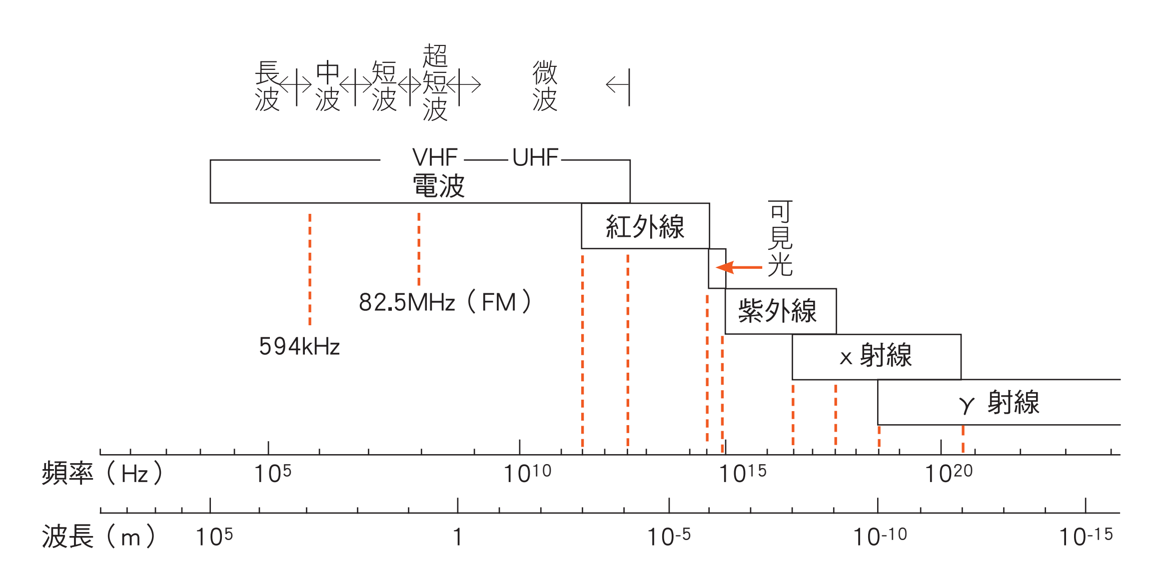


圖 1. 電磁波的種類與頻率的關係

問 3、輻射是怎樣產生的？它從何而來？

答：表 2 中 α 射線、β 射線與 γ 射線是從鐳那樣的放射性物質放射出來的，而像鐳那樣能放射出輻射的物質稱為放射性物質。英文的「放射」、「鐳」和「放射性同位素」都有共同的詞頭「radio」，同出自一個詞源，這是可以理解的。放射性物質不斷地放出輻射，即使將放射性物質敲碎，或者加熱、冷卻，仍然會不斷地放射出輻射。

在含鐳的溫泉中，由於溶解了少量的放射性物質，我們若浸入溫泉，身體便受到從鐳放射出來的輻射的照射。

此外，宇宙射線也是一種輻射，它是來自宇宙間的星體日夜不停地放射到地面上。因此，我們人類自古以來都一直受到宇宙射線的照射。

輻射中的 x 射線和電子輻射，可以用人為的方式以輻射發生裝置來產生，這種輻射稱為人造輻射。醫療用的 x 射線以及從電視機屏內側漏出的少量 x 射線是由電力產生的，這與電爐或電熱器產生的紅外線類似。因此，一旦將輻射發生裝置的電源開關切斷，輻射當然就沒有了。人造輻射還可調整發生裝置上的電壓來調節它的能量。

表 2. 輻射的來源

α、β、γ 射線	放射性物質（如鐳、鈷等）
宇宙射線	宇宙中的外星體
x 射線、電子輻射	人造射源（如 x 射線裝置、加速器等）



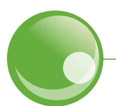
問 4、輻射的能量究竟是怎麼回事？

答：輻射的能量，依照輻射的種類而不同。x 射線和 γ 射線這類電磁輻射，其能量隨頻率的增高而增大。而 α 射線、β 射線、電子輻射與中子輻射這一類粒子輻射，其速度大、能量也大。

由輻射發生裝置得到的人造輻射（電子輻射、x 射線等）能量取決於電壓。例如在電子輻射發生裝置上加上 1 百萬伏特（MV）的電壓，就可得到能量為 1 百萬電子伏（MeV）的電子輻射。電子伏（eV）是用於原子或分子世界的能量單位。

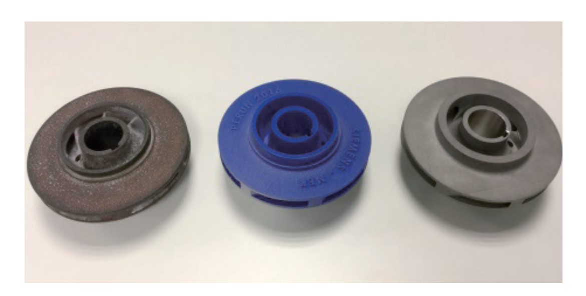
與此相反，由放射物質發出的輻射（α 射線、β 射線、γ 射線）的能量取決於放射性物質的種類。例如，鈷 60 這種放射性物質放射的 射線為 1.17MeV 和 1.33MeV 兩種能量；碳 14 這種放射性物質則放射出 0.15MeV 的 β 射線。

（本文作者為清華大學原子科學系榮譽退休教授）

西門子成功使用 3D 列印製造核電設備

文・編輯室


▲原始、遭淘汰的葉輪（左），使用 3D 列印製造的模型（中），使用 3D 列印所生產的更換零件（右）（圖片來源：西門子 Simens）

斯洛維尼亞克許寇（Krsko）核電廠自今（2017）年初即開始採用由德國電子與工程集團西門子（Simens）使用 3D 列印所生產的零件，此舉被視為 3D 列印在核電領域達成重大突破，代表 3D 列印生產的設備安全性已可達到核電廠程度的高標準。

克許寇核電廠因需要替換防火泵直徑 10.8 公分的金屬葉輪，原始零件自電廠 1981 年開始商轉使用到今年。但由於該零件的製造商已經不存在，西門子專業團隊替該零件研發出一個數位的「孿生零件」，並在瑞典的西門子製造設施生產。

西門子表示，該零件的廣泛測試由西門子與克許寇核電廠營運廠商 NEK 一同執行，時間長達數個月，以確保該零件符合克許寇電廠嚴格的品質與安全標準。附加的測試則在另外獨立的機構進行，包含 CT 掃描等，結果均顯示更換零件的材料與性能都優於原本的舊零件。

該零件已於 1 月時成功完成更換，西門子公司也提到，3D 列印這項技術使年資較長的電廠可持續運轉至年限，甚至可以延長其運轉壽命。西門子相關部門執行長強調，西門子在這個領域不斷的鞭策自己前進，克許寇核電廠的這個成就，就是西門子如何在能源工業帶來影響的一個很好的例子。西門子未來也計畫將聯合克許寇核電廠，繼續研發 3D 列印製造零件。

註：3D 列印是直接利用設計數據來製造金屬或塑膠的一種技術，使用雷射將高性能的原料逐層融合在一起，該技術使製造者能利用 3D 設計數據迅速的製造元件，而 3D 設計數據經過掃描元件的方式即可取得。

資料來源：

http://www.world-nuclear-news.org/NN-Siemens-prints-part-for-Krsko-plant-0903174.html

日本政府推動用過核燃料乾式貯存

文・編輯室

日本核能管制機構──原子力規制委員會（NRA）將放寬與地震相關以及其他燃料貯存的規範，以推動國內乾式貯存的使用，以及降低核電廠停電所造成的風險。

NRA 於近期決定，電力公司應將用過核燃料貯存在通風良好的容器中，取代現今較常見的濕式（用過燃料池）貯存。NRA 表示，貯存用過核燃料的水池，是使用循環冷卻水來帶走自反應爐退出的用過核燃料的高溫，但冷卻水循環系統需要電力來支撐，當發生地震或其他災害時，循環系統有可能面臨斷電的情況，池內的水將因為溫度持續升高而蒸發，導致池內的用過核燃料與放射性物質曝露在空氣中。

日本電力公司也表態支持使用乾式貯存的方式來儲存用過核燃料，因為當用過核燃料池接近貯滿的狀態時，乾貯設施可以讓他們在燃料池內儲存更多自反應爐替換出來的用過核燃料。但是，擁有核電廠的市政當局卻對此表示擔憂，因為乾貯系統將導致電力公司延長用過核燃料貯存於電廠內的時間。不過，NRA 主席田中俊一（Shunichi Tanaka）強調，乾貯是為了更安全的需求，並表示其安全性比濕式貯存來的高。

2011 年的東日本大地震與海嘯，在 6 年前完全切斷福島核一廠的電力來源，造成 3 部機組爐心熔毀，4 號機用過核燃料池的冷卻水循環系統也無法正常運轉。當時，大眾對燃料池內水分蒸發的恐懼持續升高，幸好往池內灌入水源等緊急措施發揮作用，4 號機內的用過核燃料當時仍維持被水源覆蓋的狀態。

當用過核燃料在燃料池內放置數年、完成第一階段的冷卻後，即可轉移至空氣流通的護箱中作乾式貯存，藉由空氣的自然對流現象，帶走餘熱。NRA 目前計畫推廣使用運輸、貯存兼用的護箱，這種護箱已通過耐久性的測試，可承受自 9 米高的地方墜落，以及高溫火災等異常溫度情況。

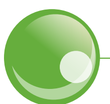
乾貯系統在美國與歐洲的使用均非常頻繁，但在日本仍未普及，最主要的原因是因為這些容器必須貯存在能夠承受該地區預測最強地震的建築物內。因此，日本僅有少數核子設施設有乾貯護箱，位於茨城縣的東海核電廠 2 號機就是其中一個例子。

根據日本電氣事業聯合會（FEPC）的統計，目前日本總共有約 15,000 噸的用過核燃料，分別貯存在 17 座核電廠內，而這些電廠中的用過核燃料池與貯存設施的貯存率已達 7 成。

資料來源：

http://www.asahi.com/ajw/articles/AJ201702140004.html





日本美浜、島根核電廠陸續申請除役

文・編輯室



▲島根核電廠（圖片來源：中國電力公司）

日本的關西電力公司 2 月 13 日向核安管制機關提出美浜核電廠 1、2 號機的除役申請，而中國電力公司則於 2 月 16 日提交島根核電廠 1 號機的除役計畫。

島根電廠擁有 5 部機組，1 號機於 2015 年 4 月停機，2016 年 4 月中國電力公司向原子力規制委員會（NRA）提出除役計畫。計畫內容概述了設施與儀器設備的拆除方案，以及完工的時程表。

中國電力 2 月 14 日表示，在 NRA 根據這份計畫做出審查意見之後，他們再度提出了修正報告，是針對如何避免 1 號機的除役作業干擾到 2 號機的運轉安全。此外，貯存用過核燃料的水池，即使喪失冷卻水也不對用過燃料棒造成危害。

有關 1 號機的設備如何在除役過程中進行維護，中國電力也向 NRA 提出了進一步的說明。

島根 1 號機是 46 萬瓩的沸水式反應爐，於 1974 年 3 月正式商轉，預計 2046 年 3 月完成除役作業。

2013 年 12 月，中國電力向 NRA 提出島根 2 號機（79.1 萬瓩的沸水式反應爐）再啟動的申請。目前日本共有 20 部機組進行再啟動的審查程序。

日本的核子反應爐在 311 福島事故後大多處於停機狀態，各電力公司在 2015 年 3 月初引進會計相關的系統，評估若要符合 2013 年 7 月 NRA 修訂的新安全基準，在衡量經濟效益之後有 5 部較老舊的機組確定不再重啟，於 3 月中旬正式宣布除役，島根 1 號機就是其中之一。另外 4 部機組分別是關西電力公司的美浜電廠 1、2 號機、日本原子力發電公司的敦賀電廠 1 號機、九州電力公司的玄海電廠 1 號機。

美浜電廠 1、2 號機也是在 2016 年 2 月提出除役計畫，關西電力預計要費時 30 年完成全部除役作業。1 號機是 34 萬瓩、2 號機是 50 萬瓩，都屬於壓水式反應爐，於 1970 年代初期開始商轉。

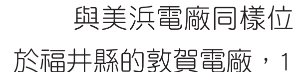
關西電力表示，2 月 10 日向 NRA 提交補充資料，同樣是有關 1、2 號機除役期間如何確保 3 號機將不受影響的安全運轉，以及燃料

池若喪失冷卻水也不會危及用過核燃料的貯存安全。

2016 年 11 月，NRA 批准了美浜電廠 3 號機可以延長運轉期限至 2036 年，3 號機是 78 萬瓩的壓水式反應爐，是繼高浜電廠 1、2 號機（2016 年 6 月獲准）、日本第 3 部獲得超過 40 年運轉許可的機組。



▲美浜市區



與美浜電廠同樣位於福井縣的敦賀電廠，1 號機是 34.1 萬瓩的沸水式反應爐，於 1970 年商轉，是日本最高齡的機組之一，日本原子力發電公司預計耗時 24 年完成除役作業。除役作業的第一階段，預計約 9 年進行拆除的準備工作，包括移除所有的燃料。第二階段預計也需 9 年，拆除反應爐與相關主要設備。第三階段預計需 6 年，將拆除反應爐廠房。

敦賀電廠 1 號機的除役作業將產生 20,600 噸的固體廢棄物，包括 40 噸的高放射性廢棄物、1,990 噸中放射性廢棄物、10,760 噸低放射性廢棄物，剩餘的則是不需特別處理的一般廢棄物。



▲美浜核電廠（圖片來源：原子力規制委員會）

2014 年完成的獨立研究證實，在敦賀 1 號機廠區下方的是「非活動斷層」。 然而，日本原子力發電公司表示，敦賀 1 號機要達到 NRA 所要求的新基準，雖然在技術上可行，但是更新計畫的規模和所需投資的資金，是他們決定除役的因素。

資料來源：

1. 2017/02/13, WNN
   http://www.world-nuclear-news.org/WR-Kansai-amends-Mihama-decommissioning-plans-1302174.html
2. 2017/02/16, WNN
   http://www.world-nuclear-news.org/WR-Decommissioning-plan-for-Shimane-1-amended-1602175.html
3. 2016/02/12, WNN
   http://www.world-nuclear-news.org/WR-Decommissioning-plans-submitted-for-three-Japanese-units-1202164.html

相關聯盟呼籲美國應對**放射性廢棄物採取行動**

文‧編輯室

美國核子基礎設施委員會（U.S. Nuclear Infrastructure Council）於近期公開呼籲，針對美國用過核燃料以及高放射性廢棄物的貯存的議題，包含重新建立民用放射性廢棄物管理單位（Office for Civilian Radioactive Waste Management）以及重新參與雅卡山最終處置場的審查過程等，均應採取「果斷、即時、明確的行動」，因為美國目前面臨的這個僵局，正耗費著全國數十億的美金。

美國核子基礎設施委員會後端運作小組發現，自美國通過《核廢料政策法規（U.S. Nuclear Waste Policy Act）》至今已超過 30 年，以及自聯邦政府未能達成其法定及契約上的義務來移除核電廠內的用過核燃料，至今已有 18 年，美國的放射性廢棄物管理計畫仍處於被「棄置」的狀態，主要原因即是全球公認的「政治因素」，導致美國至今日還沒有商用電廠與國家國防部門所產生的用過核燃料以及高放射性廢棄物最終處置的途徑。現今貯存在運轉中或已關閉核電廠內的用過核燃料，其數量已經超過 75,000 噸。

該小組對此公開表示，「目前這個僵局正耗費美國納稅人數十億的金錢」。他們也估計，目前聯邦負債額約是 250 億美金（約 7,750 億新台幣），自前政府對終止雅卡山最終處置場執行第一步行動開始以來，增加了 110 億（約 3,400 億新台幣）的開銷。

該小組還提到，核燃料無法再循環使用，已對核能在國家能源結構中的潛力造成負面的影響。最終處置場目前仍沒有著落的原因，被歸類為無法確保核子相關技術資金的獲得、頒發執照各種延遲、各州對新建核子設施的禁令與限制等，如此持續陷入僵局將破壞美國在國際間於核子安全、禁止核武擴散與核子保安等領域的地位。

「很明顯的，我們需要果斷、即時與明確的行動，重新建立一個全面的計畫，來承担聯邦政府於法定上及契約上，處置這些高放射性廢棄物的義務，以及為高放射性廢棄物在核燃料循環後端，提供一條平穩的道路，並替為了確保國家能源獨立所需要新建的核電廠，清除各種障礙。」

該小組也建議此計畫應透過「綜合」的方式來規劃，內容涵蓋雅卡山計畫、集中中期貯存設施解決方案、管理與資金的改革、運輸設施、後端技術的研發、有效進行核燃料循環，以及所在地社區的補償金等等。

美國核子基礎設施委員會是一個商業聯盟，主要推廣新興核能與全球參與美國核子供應鏈。

資料來源：

http://www.world-nuclear-news.org/WR-US-consortium-calls-for-action-on-waste-1303177.html

美國 WIPP 將重新接收**放射性廢棄物**

文・編輯室

預計 4 月起，美國各地產生的超鈾廢棄物可開始送至新墨西哥州的廢棄物隔離試驗場（WIPP），美國能源部預計接下來的 12 個月將有 128 批次，運送到重新運轉的 WIPP。

WIPP 自 1999 年開始運轉，是美國唯一一座接收軍事超鈾廢棄物的處置場，這些廢棄物包括衣物、工具、抹布、殘渣、廢土，以及其他被少量鈽和其他人造放射性污染的物品，被密封在鋼桶中，再放進古老的鹽層所開闢出的空間中處置。

WIPP 地下貯存設施的運轉因為 2014 年 2 月發生兩起沒有關連的事件而中止。第一件是在 2 月 5 日，因地底下的車輛發生火警，隨後設施停止運轉。然而 9 天之後，用來穩定鋼桶中液體與硝酸鹽的有機吸收材料，因為出現熱化學反應，造成廢棄物鋼桶破裂，而在地面下發生了放射性事件。

美國能源部對這兩次事件進行調查，並於 2014 年 10 月公布了一項逐步恢復計畫，希望 WIPP 能在 2016 年初重啟運轉；但是在 2015 年年中，因為有幾項需進一步確認的作業加入計畫的時間表後，又修改了這個重新運轉的日期。這項計畫案估算直到正式開始運轉將花費 2.42 億美元，這還不包括新的永久通風設備，那需要追加 6,500 萬至 2.61 億美元，而一個新的排氣豎井約要花費 1,200 萬至 4,800 萬美元。



▲ WIPP 設施的大門（圖片來源：美國能源部）

美國能源部最終還是在 2016 年 12 月下旬授權「放射性廢棄物夥伴關係（Nuclear Waste Partnership）」的操作員，可重新恢復廢棄物的處置，確認在兩個運轉準備審查中所有啟動前的作業，以及其他管制要求都已經完成修正。

WIPP 重啟運轉後第一批廢棄物是來自能源部在薩凡納（Savannah）河的廠區，廢棄物的處理作業已於 1 月 4 日完成，並貯存在 WIPP 的廢棄物處理大樓（WHB）。

所有產生超鈾廢棄物的設施以往都是將廢棄物送至 WIPP，在這段停止運轉期間，只



▲ WIPP 的工作人員在地底下振臂慶祝，他們完成了自 2014 年停止運轉以來第一批廢棄物的處置作業。（圖片來源：美國能源部）

能暫時貯存在自己廠區內。能源部早些時候說，在 4 月 WIPP 開始接受新的廢棄物之前，所有 WHB 重新認證過的廢棄物可先進行安置。

能源部現在宣布，可以開始將廢棄物從生產的廠區運送過來，「一旦輸出廠方指明準備裝載和運輸超鈾廢棄物的容器，並且確認指定用於 WIPP 的廢棄物已符合更新版的安全分析文件的要求後，就可以開始運送。」至於運送時實際的分配與順序，將根據 WIPP 的安裝率、WIPP 與輸出廠方的操作需求，以及影響運送的後勤問題（例如天氣）再進行調整。

能源部初步估計未來 12 個月內運往 WIPP 的超鈾廢棄物的數量，至 2018 年 1 月底，WIPP 將從愛達荷州接收 61 批廢棄物、從橡樹嶺接收 24 批、從洛斯阿拉莫斯（Los Alamos）接收 24 批、8 批來自薩凡納河廠，另外 11 批來自「廢棄物管理專家（Waste Control Specialists）」。

卡爾斯巴德場辦公室（Carlsbad Field Office）經理許拉德（Todd Shrader）說：「我們很高興 WIPP 可以再度處理廢棄物，處置作業的中止造成超鈾廢棄物堆積如山，對能源部的廠區帶來挑戰，重新恢復運送作業對於清理廢棄物，以及在這些廠區正在進行的任務都是非常重要的好消息，我們期望盡快並盡可能安全地進行。」

1 月 9 日，美國能源部長莫尼茲（Ernest Moniz）和包括新墨西哥州長馬丁涅茲（Susana Martinez）、參議員海因里奇（Martin Heinrich）、卡爾斯巴德市長楊威（Dale Janway），以及數位代表在內的一個代表團共同出席了 WIPP 的再開幕儀式。

莫尼茲表示，經過工作人員、承包商、聯邦管理階層以及社區不懈的努力，使 WIPP 成為「更安全的地方」，這是個卓越的壯舉。他說：「能源部會繼續致力於安全、負責任地清理這些冷戰時期的『遺產』，並繼續與本地的夥伴以及新墨西哥州合作，WIPP 將再次協助我們達成這項使命。」

資料來源：

1. nuclear-news.org/WR-Waste-shipments-to-WIPP-expected-to-resume-soon-1602174.html
2. http://www.world-nuclear-news.org/WR-First-waste-emplaced-as-WIPP-reopens-1301177.html

中國的儲能裝置在東亞取得領先地位

文・編輯室

根據世界銀行（World Bank）的統計資料，中國在 2025 年時，預計裝設約 90 萬瓩的電力設備與後備系統，將可能成為東亞與太平洋地區最大的能源儲存市場。

世界銀行在一份有關新興市場能源儲存趨勢與機會的最新報告中，指出中國經濟在過去幾十年來，已經開放境外投資，以及接受自由市場的制度，這趨勢也正在加快速度。此外，中國正在改革能源市場，允許非國營電力供應商進入市場，讓民營電力供應商（IPP）也有提供儲能輔助與服務的機會。

東亞與太平洋地區的新興市場面對緊急供電的問題，在開發儲能方面也出現重大的挑戰。根據報告，這些挑戰包括電氣化程度低、電網基礎設施開發不足，以及缺乏資金支持新技術來改進電網服務。



報告中指出，在日本、韓國、澳洲等已開發市場之外，目前在東亞與太平洋地區設置了 2,861 萬瓩的能源儲存系統。

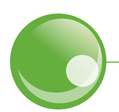
在印度以外的南亞地區，能源儲存市場發展得非常少，預計未來 10 年仍將受到限制。

至於拉丁美洲，則是另一個具有吸引力的能源儲存開發的新興市場，因為到 2020 年，這個地區將安裝大量的太陽能與風能。這裡將安裝大約 100 萬瓩的能源存儲容量，該報告表示，主要來自阿根廷的抽水蓄能水力發電。

「在過去 3 年裡，電池儲能市場一直獲得青睞，智利和薩爾瓦多由 AES 儲能公司與 Altairnano 公司所開發的 3 個大型系統，容量為 4.2 萬瓩。」報告說，「區域型儲能計畫的管線不斷增長，包括電池、壓縮空氣、飛輪、抽水蓄能與熱能儲存計畫等多種技術。」

資料來源：

http://www.renewableenergyworld.com/articles/2017/01/china-to-take-leadership-position-on-energy-storage-in-east-asia-pacific-region-world-bank-says.html




中國 2017 年預計有 8 座核電機組開工

文・編輯室

中國國家能源局於近期透露，2017 年預計將有 5 部機組建設完成，並開始 8 部機組的建設工程，以及籌備另外 8 部機組的建設計畫。由中國國家能源局發布的《2017 年能源工作指導意見》，披露了中國 2017 年重要的工程清單，內容涵蓋水力、核能、風能、天然氣發電等領域。

在核電領域中，中國計畫在年內完成海陽 1 號、三門 1 號、福清 4 號、台山 1 號、陽江 4 號等機組的建設工程，新增約 650 萬瓩的裝置容量。其中三門 1 號與海陽 1 號採用型號 AP1000 的壓水式反應爐，台山 1 號為 EPR 壓水式反應爐，福清 4 號與陽江 4 號則同為 CPR-1000 的壓水式反應爐。

▲中國預計於 2017 年完工的 5 部機組（綠點）與開始前期準備作業的 8 部機組（紫點）
（圖片來源：Nuclear Engineering International）

另外，中國也表示將積極推動具備完整條件的核電計畫，也會有順序的批准沿岸核電機組的興建。為了推廣山東石島灣電廠的高溫氣冷式反應爐示範工程建設，相關核子科學與技術計畫的執行也不會間斷。

除了預計在年內開工 8 部機組，中國同時將開始三門 3、4 號，寧德 5、6 號，漳州 1、2 號，惠州 1、2 號等 8 部、裝置容量規模高達將近 1,000 萬瓩的沿岸機組計畫的籌備工作。

在國外發展方面，中國將加強與國際間於核子相關的合作，對象包含俄羅斯與美國，中國也希望與阿根廷、羅馬尼亞、土耳其等國家，在核電建設方面的合作能穩定發展。

資料來源：

1. http://www.neimagazine.com/news/newseight-new-units-to-be-launched-in-2017-5759126
2. http://www.world-nuclear-news.org/NP-China-sets-out-nuclear-plans-for-2017-0203174.html

放射性廢棄物搖身一變為潔淨能源

文 • 編輯室

放射性廢棄物是否能夠扭轉大家的負面印象，再度成為有價值的東西呢？英國布里斯托爾大學（University of Bristol）的研究人員證明是可以的。因為他們研究出放射性廢棄物的特別用途，開發出一種核動力電池，利用放射性廢棄物的放射性來生產潔淨的電力，進而顛覆了一般人的想法。

現有產生電力的主要技術是使線圈在磁場中移動而來，布里斯托爾大學研究團隊這項新技術不同的是，這個電池的核心是一個人造鑽石，只要放置在距離放射源夠近的地方就能夠產生電荷。

這項研究是在 2016 年 11 月 25 日於布里斯托爾大學卡博特學院（Cabot Institute）舉辦的「改變世界的想法」年度講座中發表。目前研究團隊的鑽石電池原型是採用鎳 63 作為放射源，未來希望改用碳 14 這種具有放射性的碳元素，有部分核電廠用來降低中子速度的石墨塊中會產生碳 14。

界面材料分析中心的史考特（Tom Scott）教授表示，「英國人可以重新賦予廢棄物新的價值，這就是很好的例子。」在英國，有大約 95,000 噸的放射性石墨廢棄物，是來自早期的 Magnox 和目前的 AGR 實驗反應爐計畫。

相信有很多人對於目前常用的 AA 電池壽命太短而感到不滿，上述這項新技術的研究進展，將在提升電池容量上跨出令人興奮的一步，可使電池的壽命遠遠超過目前的鹼性電池。一顆 AA 型號鹼性電池的重量約 20 公克，每公克具有儲存 700 焦耳的能力，平均約可連續供電 24 小時。史考特教授表示，在含有 1 公克碳 14 的鑽石 β 電池中，每天能產生 15 焦耳的能量，而且能在這種水平不斷輸出 5,730 年；換算起來，它的儲存總能量高達 2.7 兆焦耳！

雖然這種持久且低功耗的電池，不會很快取代你口袋裡 iPhone 的電池，但卻開啟了令人振奮的應用領域，例如供應心律調整器、人造衛星，甚至高空無人駕駛飛機的電力。

資料來源：

http://www.digitaltrends.com/cool-tech/diamond-battery-clean-energy/

核能新聞

文・編輯室

國外新聞

報導顯示英國政府考慮直接援助國內核能發展

根據英國《金融時報》的報導，英國各部長正在就「該如何支持」新的核電計畫而展開爭論，但其中一些較資深的部長反對國家直接補貼。英國報紙引用匿名人士的話，稱財政大臣哈蒙（Philip Hammond）與商業部長克拉克（Greg Clark）均參與此次「是否支持在安格爾西島（Anglesey）與坎布里亞郡（Cumbria）新建核電廠」的會談。

安格爾西島與坎布里亞郡核電廠建設計畫分別由 Horizon 公司與 NuGen 公司負責建造，其中 Horizon 為日立 100%的子公司，計畫在安格爾西島的 Wylfa Newydd 與南格洛斯特郡的 Oldbury-on-Severn 兩座核電廠廠址，建造英國進步型沸水式反應爐；NuGen 則為日本東芝與法國 Engie 所建立的合資公司，計畫在西坎布里亞郡的 Moorside，用西屋電氣所製造的 AP1000 反應爐技術，來建造一座總裝置容量高達 380 萬瓩（3.8GWe）的核電廠。

World Nuclear News, 2017/02/13

法國弗拉芒維爾核電廠發生爆炸，有人員輕傷但無輻射汙染

位於法國北部的弗拉芒維爾（Flamanville）核電廠，在 2 月 9 日時發生爆炸，法國當局表示，該次爆炸造成數名人員受到輕傷，但沒有輻射汙染的風險。法國電力公司（EDF）表示，因為距離反應爐有一段距離的一處機房起火，才導致爆炸，但火勢立即受到控制，1 號機組也隨即斷網停止發電，事故在發生一小時後宣布解除。

根據路透社表示，意外發生時有 5 名工作人員在場，雖然這 5 名工作人員立即遭到疏散，但仍因輕微吸入煙霧而接受治療。至於起火的原因，目前已排除任何惡意破壞的行為，推測是機房內的通風設備過熱導致發生意外，但該原因並沒有被證實。當地官員表示，此次意外實屬「技術」上的疏失，並非「核災」，此次意外也沒有對該廠目前正在建設中的 3 號機，帶來任何的影響。

弗拉芒維爾 1、2 號機都是 130 萬瓩的壓水式反應爐，分別於 1986 與 1987 年開始運轉，而因技術原因遭到延誤多次的 3 號機組則預計於 2018 年加入運轉行列。法國核工業前陣子才因為發現部分反應爐組件鋼材有缺陷而受到不少批評，這次的事故有可能替法國核工業帶來更廣泛的影響（去年法國有多部機組因為發現反應爐部分組件碳元素含量過高，而停機接受安檢，至今年初通過安檢才獲准重啟）。

Nuclear Engineering International, 2017/02/09

首座 VVER-1200 反應爐投入運轉

於 2016 年 8 月初併網的俄羅斯新沃羅涅

日斯基核電廠 6 號機（Novovoronezh 6，也被稱作第新沃羅涅日斯基第二核電廠 1 號機），於最近正式投入商轉。這座由俄羅斯國家原子能公司（Rosatom）負責營運的反應爐型號為 VVER 1200/392M 的壓水式反應爐，裝置容量高達 111.4 萬瓩，為 VVER-1000 的進階改良版，除了發電功率提高 2 成之外，反應爐壓力槽與蒸氣產生器等主要反應爐設備的壽命也自原本的 30 年延長至 60 年，高度自動化使其所需的人事成本也降低了近 3 成，且該部機組完全符合國際原子能總署（IAEA）在福島事故後所制定的安全規範。

俄羅斯國家能源公司表示，新沃羅涅日斯基 6 號機自 2016 年 8 月併網發電，代表該部機組已被列入國家聯合能源系統。該部機組在試營運期間也通過所有於不同功率水平與操作模式下進行的檢查與測試，並在 2017 年 2 月底以「100%的生產力」通過 15 天的全面測試，證實了該部機組符合其設計參數、穩定乘載負載的能力。在投入商轉前，該部機組已生產了近 17 億度（1.7TWh）的電力。

新沃羅涅日斯基 6、7 號機為新沃羅涅日斯基第二核電廠首兩部機組，分別自 2008 年與 2009 年開始建造工程。附近的新沃羅涅日斯基第一核電廠目前有 3 部機組運轉中，2 部正在進行除役作業。

World Nuclear News, 2017/03/02

日本女川、東通核電廠延後重啟，玄海通過重啟審查

日本東北電力公司已確認將延後旗下女川核電廠 2 號機與東通核電廠 1 號機組核安加強工程的完成日期，但電力公司必須完成這些工程才有可能重啟運轉。

東北電力公司先前分別在 2013 年底與 2014 年中，向管制機構日本原子力規制委員會（NRA）申請執行女川 2 號與東通 1 號的安全評估，確認電廠所採用的安全加強措施是否符合標準，以利之後重啟之路。強化核安的工程原本預計於今（2017）年 4 月完成，但 NRA 的審查過程比原先預期的時間還要長出許多，導致東北電力公司必須重新評估整個工程時間表，並將該兩部機組完工的時間分別延至 2019 年與 2020 年。

另外，NRA 也在今年初完成位於佐賀縣、由九州電力公司負責營運的玄海核電廠 3、4 號機組的安全評估，玄海市市長近期在市議會投票通過後，同意這兩部機組重啟運轉。而佐賀縣政府表示，會等到 3 月 18 日與縣內所有市長開完會後決定是否批准這兩部機組重啟。

日本目前已有 5 部機組達到新式標準並獲准重啟，但其中僅有 3 部處於運轉中的狀態。

World Nuclear News, 2017/02/08 &
The Japan Times 2017/03/07

美國國會通過非傳統核電技術法案

美國眾議院於近期通過支持非傳統核能發電技術的法案，待總統川普簽屬後這份提案將有可能改變政府監管核能發電的方式，並在高等、非傳統反應爐技術方面投入一顆震撼彈。該法案是由 2 名共和黨議員以及 3 名民主黨議員所提出。

美國核子基礎設施委員會（U.S. Nuclear Infrastructure Council）執行理事布里（David Blee）表示，範圍涵蓋第三代反應爐（Gen 3+）、小型模組反應爐（SMR）、非輕水式的進步型反應爐，以及核熔合反應爐等的高等核能技術，是提高美國在核電市場競爭力的關

鍵。布里也提到，維持美國在技術創新、核安措施加強、能源安全與潔淨能源方面的領先地位可說至關重要。

在這些高等核能技術中，不會導致如福島與車諾比等的嚴重核子事故，且不會排放二氧化碳的「熔鹽反應爐」，就是其中一個很好的例子。這些反應爐的造價有可能比傳統式反應爐還要低廉，因為他們可以直接在建造工廠內製造完成。熔鹽反應爐最初是由美國能源部（DOE）旗下的橡樹嶺國家實驗室所開發，但因無法適用於軍事方面因此遭放棄使用。

另外，美國審核這些非傳統反應爐技術的成本高昂，核電廠營運廠商每年也需支出近 420 萬美元（約 1.3 億元新台幣）來滿足政府在撰寫文件方面的要求，平均每座核電廠每年需向政府支付各類費用的總額高達 1,400 萬美元（約 4.2 億元新台幣），還要向政府強制安排的保安支付 440 萬美元的人事費用。核管會（NRA）光批准一種新的傳統型反應爐最多可耗費 25 年的時間，但建立這些非傳統反應爐卻只需要 10 多年的時間。

The Daily Caller, 2017/01/24

中國首次對歐洲出口自主設計製造的核電設備

中國東方電氣重型機器有限公司（以下簡稱「東方電氣」）於近期成功出口自主設計、研發的核電低壓加熱器至法國，成為首批外嫁至歐洲的中國製核電設備。

該設備依照歐洲壓力容器指令與法國壓力容器的標準，受到法國電力集團（EDF）的青睞，EDF 在 2011 年即與東方電氣簽訂了 R3 低壓加熱器的合約，成為中國首張出口歐洲的核電設備訂單。經過 3 年的設計與研發，東方電氣在 2014 年 10 月正式與法方簽訂製造合同。EDF 也表示，東方電氣出色的完成法方所有的要求，該加壓器將用於 EDF 旗下 CP1 系列核電廠設備的更換，也證實東方電氣成為 EDF 在中國確立的第一家核電設備合格供應商。

中國從完全依賴進口到今日實踐自主設計製造，已具備出口核電的實力。據悉，中國是繼法國、美國、俄羅斯之後第 4 個擁有整套核電設備設計與製造能力的國家。

China Power, 2017/02/16

瑞士 2016 年核能發電量下降

根據瑞士核工業貿易協會（Swissnuclear）統計，2016 年瑞士 5 部核電機組的總發電量為 203 億度（20.3TWh），比 2015 年下降了 18 億度。總體來看，2016 年瑞士核能發電量占其總發電量的比例較 2015 年下降了 8.6%，瑞士核工業貿易協會表示，下降的原因主要是因為萊布施塔特核電廠（Leibstadt）單號機組以及貝茲諾（Beznau）1 號機組停機接受安檢的時間遭到延長，導致發電量低於預期，其中貝茲諾 1 號機在 2016 年整年處於停機狀態。

貝茲諾 1 號是世界上最年邁的運轉中核電機組，自 1969 年 9 月開始商轉。該部機組在 2015 年停機接受大修，但在那之後卻因為使用來自法國亞瑞華旗下工廠與日本鑄造鍛造公司所製造的反應爐組件，被發現碳元素濃度異常的問題，瑞士核能管制機構因此對其進行嚴格的審查。萊布施塔特電廠則在 2018 年 8 月因為部分燃料棒外殼材料出現可疑氧化物而停機維修，今（2017）年 2 月才獲准「有限制的」運轉。

Nuclear Engineering International, 2017/03/01

國內新聞

放射性廢棄物集中貯存及最終處置時程

基於低放射性廢棄物最終處置計畫應變方案的集中貯存設施，屬低放射性廢棄物最終處置計畫的一部分，台電公司的時程規劃採N+16 年的浮動概念。原子能委員會認為，N可能為無限大，難以同意浮動時程的概念。原能會要求台電公司自集中式貯存設施方案啟動至完工啟用所需時間為 8 年，並自集中式貯存設施方案啟動後 3 年內選定場址。

台電公司依照放射性物料管理法規定提報「用過核子燃料最終處置計畫書」，處置計畫依階段分為「潛在處置母岩特性調查與評估」（2005-2017 年）、「候選場址評選與核定」（2018-2028 年）、「詳細場址與試驗」（2029-2038 年）、「處置場設計與安全分析評估」（2039-2044 年）、「處置場建造」（2045-2055 年）等 5 個階段，處置設施預定於 2055 年啟用。台電公司應於第一階段潛在處置母岩特性調查評估（2005-2017 年）完成時，提出「我國用過核子燃料最終處置技術可行性評估報告」（SNFD 2017 報告）外，還應提出候選場址的建議調查區域，以作為第二階段候選場址調查地區選擇的依據。

台電公司目前執行處置計畫的第一階段，此階段不涉及場址評選工作，於 2018 年進入第二階段工作後，才會開始進行選址的相關作業。未來第二階段的選址作業，將由經濟部及台電公司負責。原能會為安全監督機關，對於場址地點並無預設立場。

本刊訊，2017/03/21

核能後端營運總費用 持續評估最適合作法與預算規劃

針對外界關注核電廠後端營運總費用增加，台電表示，正持續努力執行核電廠除役規劃，長期盤點核能後端處理所需相關費用；除參考國際間作法，台電也納入社會多元期待與共識等意見。因此，放射性廢棄物處理不同的作法組合，會有不同的費用估算，台電將持續積極評估最適合的作法與費用規劃，向經濟部報告。

外界指出核能後端營運總費用增加的數字，是把評估所有可能要做的項目各單項加總起來。台電解釋，因應環境持續改變，放射性廢棄物處置方式會有不同的新需求，所以核能後端營運總費用每 5 年會重估 1 次；假設有新增要求項目，費用就會隨著變動，例如用過核燃料的乾式貯存，去年因應社會期待從室外改成室內乾貯，費用增加約 280 億。

台電解釋，由於放射性廢棄物處置各項目之間的期程與競合關係，有可能不用全部執行，比如若集中式貯存完成，核電廠第二期乾式貯存就有可能不需要做，所以核能後端營運總費用事實上會增減變動，不一定累計往上加。台電會根據相關的組合進行評估，屆時提送經濟部進行討論。

本刊訊，2017/03/06

何博士的日常豆知識

Q：我們可以用風力發電取代核能嗎?

風咧

Bow-wow

開心

風有季節性

沒風就沒電

台灣的用電高峰在夏季，卻剛好是無風季節，

可見風力發電**無法配合**用電需求提供**穩定電力**。

此外，以核四每年**193億度**的發電量為例，

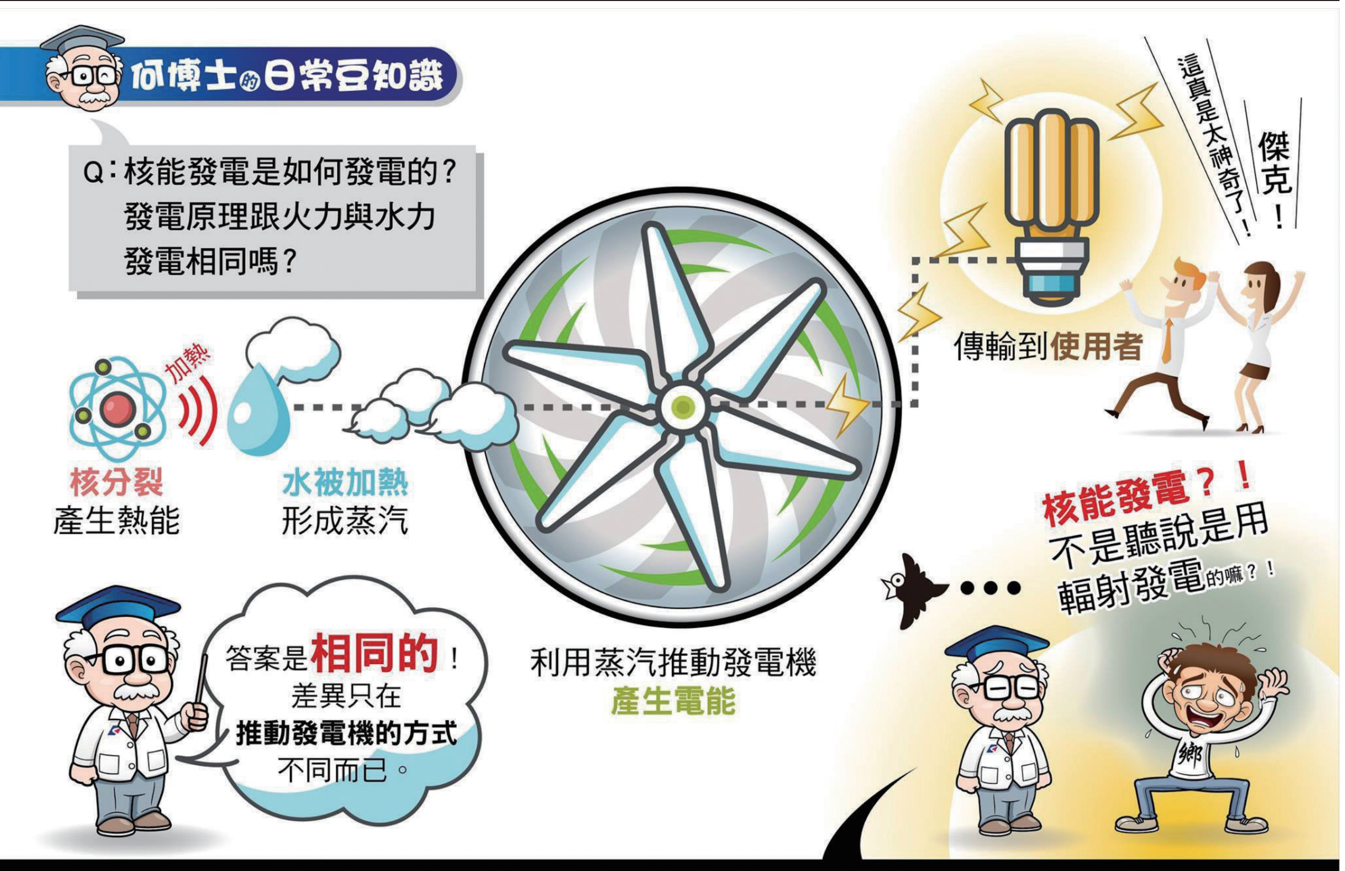
若想用風力發電取代，需要**約3500座**風機（可繞台灣一圈），

再加上風機設置地點附近居民的強烈抗爭，

抱怨噪音、眩光乃至影響風水問題，

因此未來要大量推廣風力發電，仍有相當的困難。

台灣的風力發電恐難取代核能發電



別再相信傳說拔到獅子的鬃毛，掉落的頭髮就能長回來的謬論了！